



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KRYCÍHO PLECHU ZÁMKU

PRODUCTION OF COVER PLATE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Rubáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Petr Rubáš**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba krycího plechu zámku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby části kufrového zámku osobního automobilu z mikrolegované konstrukční oceli. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost krycího plechu,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

RUBÁŠ Petr: Výroba krycího plechu zámku.

Práce je zaměřena na návrh technologie výroby krycího plechu zámku, který společně s dalšími díly tvoří část zámku pátých dveří u osobního automobilu. Kryt je vyroben z plechu o tloušťce 2 mm a obsahuje řadu ohybů, prolisů, stříhaných a lemovaných otvorů. Na základě výrobních požadavků a velikosti série 1 200 000 kusů za 3 roky byla zvolena výroba pomocí postupového sdruženého nástroje. Díl bude vyhotoven v jedenácti krocích obsahujících stříhání, ražení, ohýbání a lemování. Jako nejvhodnější materiál byla zvolena mikrolegovaná konstrukční ocel S355MC. Díl bude vyráběn na lisu KSTU 5000-30-7G RKM od firmy ANDRITZ Metals a cena výrobku činí 14,33 Kč.

Klíčová slova: ocel S355MC, stříhání, ohýbání, ražení, lemování, sdružený postupový nástroj.

ABSTRACT

RUBÁŠ Petr: Production of cover plate.

The thesis is focused on the proposal design of the technology of the production of the cover plate of the lock, which together with other parts forms part of the fifth door of the passenger car. The cover is made of 2 mm metal sheet and includes a number of bends, embosses, cuts and trimmed holes. Based on production requirements and a series size of 1,200,000 pieces over 3 years, the production using a progressive composite tool was chosen. The part will be made in eleven steps composing of cutting, stamping, bending and edging. Micro-alloyed structural steel S355MC was chosen as the most suitable material. The part will be produced on the press KSTU 5000-30-7G RKM from the company ANDRITZ Metals and the price of the product is 14,33 CZK.

Keywords: steel S355MC, cutting, bending, stamping, edging, progressive forming tool.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RUBÁŠ, Petr. *Výroba krycího plechu zámku*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116701>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 24.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za plnou podporu a pomoc a také firmě WITTE Nejdek, spol. s r.o. za poskytnutí materiálů a spolupráci.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Variantní řešení výroby	12
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	14
2.1 Stříhání	14
2.1.1 Střížná plocha a vůle	15
2.1.2 Rozmístění výstřížků	17
2.2 Ohýbání	18
2.2.1 Rozvinutá délka polotovaru	20
2.2.2 Odpružení a poloměr ohybu	21
2.3 Ražení a lemování	23
2.4 Síla a práce	24
2.4.1 Těžiště sil	26
2.5 Nástroje	27
2.6 Stroje	31
2.7 Technologičnost	33
3 NÁVRH VÝROBY	35
3.1 Rozvinutý tvar součásti	36
3.2 Rozmístění výstřížků	37
3.2.1 Výrobní postup	39
3.3 Volba polotovaru	42
3.4 Odpružení	43
3.5 Síla a práce	44
3.5.1 Těžiště sil	48
3.6 Volba stroje	51
3.7 Konstrukce nástroje	52
3.7.1 Návrh funkčních částí	56
4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	58
5 ZÁVĚRY	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Strojírenství patří do technického oboru, který je zaměřen na návrh strojů a jejich jednotlivých dílů, dále pak na jejich výrobu a údržbu. Lze jej dělit na těžké strojírenství - kam patří činnost hutní a slévárenská, střední strojírenství - zaměřené na výrobu zařízení a strojů na tváření a obrábění kovů a nakonec přesné a lehké strojírenství. Je kladen důraz na využívání moderních technologií a vynaložení minimálních finančních nákladů vedoucích k dosažení požadovaných výrobních kvalit. Na základě zpracování materiálu se dělí výroba na slévárenství, tváření, obrábění a svařování.

Tváření je výrobní proces, při němž se mění tvar polotovaru bez porušení (neplatí u stříhání). Podstatou této nedestruktivní technologie je vznik plastické neboli trvalé deformace, ke které dochází v okamžiku, kdy napětí tvářeného dílu dosáhne meze kluzu. Existují dvě základní skupiny - tváření plošné a objemové. Další způsob rozdělení je založen na teplotě, při které je materiál zpracováván. Jedná se o tváření za tepla, za studena, nebo za poloohřevu.

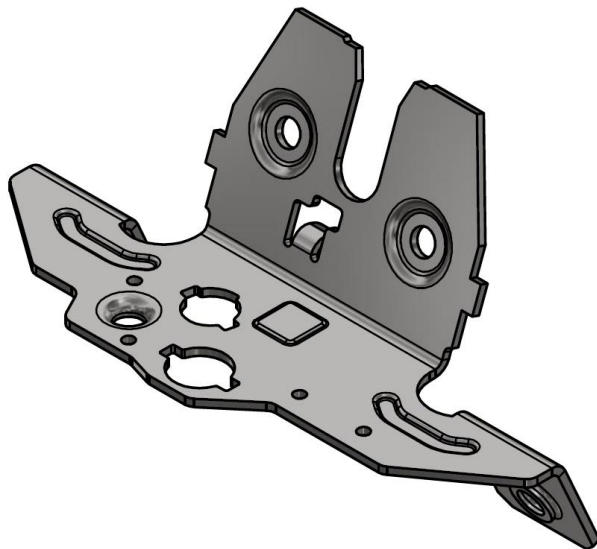
Podstatou plošného tváření je dosažení požadovaného tvaru výrobku bez podstatné změny jeho průřezu, nebo tloušťky. V tomto případě převládají deformace pouze ve dvou směrech souřadného systému. Sem patří například ohýbání, stříhání, či rovnání. Příklady součástí vyráběných tvářením jsou zobrazeny na obrázku 1.



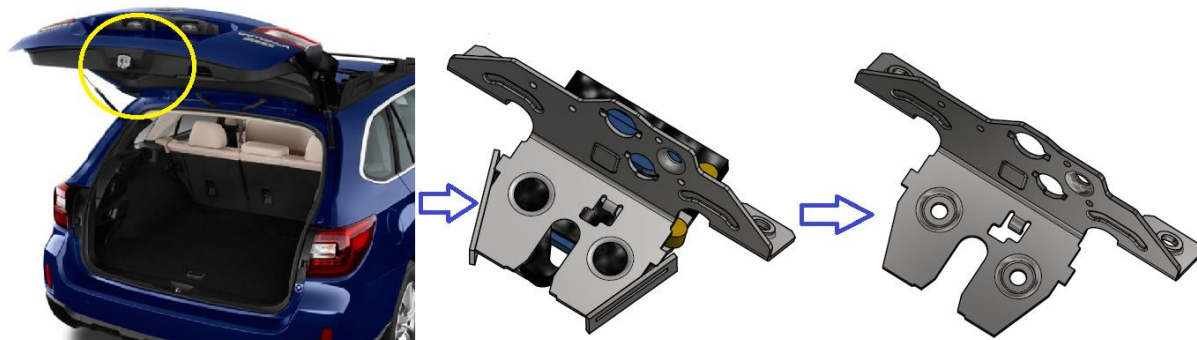
Obr. 1 Příklady tvářených výrobků [5]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [2], [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10]

Vyráběnou součástí je kryt zámku kufru (obr. 2) používaný u osobních automobilů. Společně s dalšími kryty chrání hlavní funkční části zámku. Přesněji lze tento segment zámku nalézt namontovaný v pohyblivé části pátých dveří (obr. 3). Kryty jsou k sobě navzájem přínýtovány. Horní a spodní část zamykacího systému do sebe musí přesně zapadat a slouží k zamykání a udržení zavřeného kufru. Během jízdy bývají tyto díly často mechanicky namáhány, proto je nutné, aby jednotlivé komponenty byly vyrobeny z kvalitních a odolných materiálů. Součástka se bude vyrábět v požadované sérii 1 200 000 kusů za 3 roky. Kryt musí mít po celé délce stejnou tloušťku (neplatí pro prolisy a lemování) a nesmí dojít k povrchovému poškození při zvoleném způsobu výroby. U krytu je požadována korozní odolnost. Celý postup montáže až po celkové využití je znázorněn na obrázku 3.

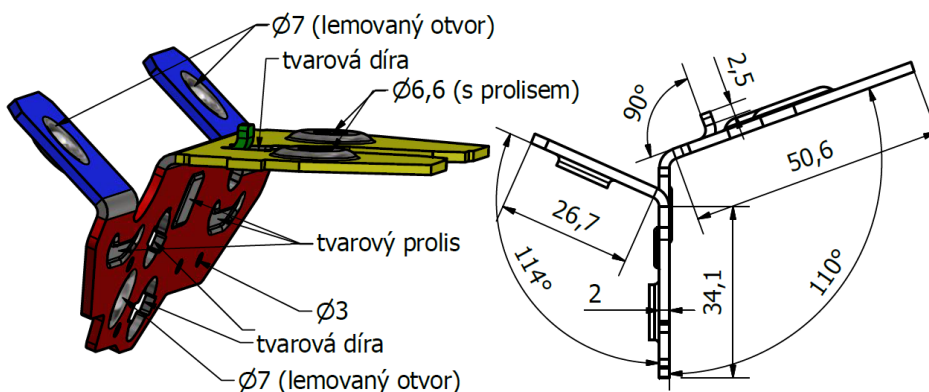


Obr. 2 Kryt zámku



Obr. 3 Schéma využití krytu zámku [6]

Kryt je vyroben z plechu o tloušťce 2 mm. Popis jeho částí, včetně barevného označení, je zobrazen na obrázku 4. Tvarový díl obsahuje mnoho zkosených a zaoblených hran. Vyskytují se zde čtyři ohyby. Dva z nich jsou stejné, jejich délka činní 26,7 mm, úhel ohybu 114° (na obrázku jsou zobrazeny modře). Na každé z těchto ohnutých ploch je vytvořen lemovaný otvor $\varnothing 7$ mm. Další ohyb střední části dílu je vyznačený žlutou barvou, má velikost úhlu 110° a délku 50,6 mm. V části tohoto ohybu lze nalézt dva kruhové prolisy s otvory $\varnothing 6,6$ mm, tvarový otvor a poslední nejmenší ohnutý úsek plechu (je znázorněn zeleně) s úhlem 90 stupňů a délkou 2,5 mm. V ploše zachycené červenou barvou jsou vytvořeny čtyři otvory $\varnothing 3$ mm, dva tvarově vystřižené otvory, tři tvarové prolisy a jeden lemovaný otvor $\varnothing 7$ mm.



Obr. 4 Popis částí krytu

Při volbě vyhovujícího materiálu je důležité zohlednit využití součástky a požadavky zákazníka. Jelikož je díl součástí zámku a je umístěn v zadní části automobilu, může být v kontaktu s vodou. Proto je důležité, aby zvolený materiál byl odolný vůči korozi. Dále bude součást mechanicky namáhána (vibrace, vysoký tlak, či nárazy) a je nutné, aby daný materiál byl vůči těmto vlivům odolný. Musí také vyhovovat vybranému způsobu výroby dílu. Po uvážení výše uvedených požadavků se jeví jako nejvhodnější mikrolegované konstrukční oceli s jemnou strukturou (HSLA). Plechy jsou válcovány za tepla, mají vyšší mez kluzu a jsou vhodné pro tváření za studena. Vyznačují se svou vysokou pevností a větší odolností proti atmosférické korozi, než konvenční uhlíkové oceli a přitom se jejich cena pohybuje na stejné úrovni. Název mikrolegované oceli je odvozen z malého množství legur, které je v nich obsaženo a zaručuje dostatečné mechanické vlastnosti. Jejich využití je především v automobilovém průmyslu, u mostních konstrukcí a skladovacích nádrží. Po uvážení byla vybrána ocel S355MC. Svou velikostí meze pevnosti a meze kluzu odpovídá uvedeným požadavkům. Její mechanické vlastnosti a chemické složení je popsáno v tabulce 1. Po výrobě bude na dílu, pro zvýšení odolnosti vůči korozi, vytvořen Zn-Ni povlak a černá pasivace.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S355MC [8], [9]

Materiál	Ocel S355MC (1.0976)							
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]			Tažnost A [%]		Mez kluzu Re [MPa]		
	430 - 550			19		355		
Chemické složení [%]	Uhlík C	Křemík Si	Mangan Mn	Fosfor P	Síra S	Niob Nb	Vanad V	Titan Ti
	0,12	0,5	1,5	0,025	0,02	0,09	0,2	0,15

Kryt zámku pátých dveří je vyráběn firmou WITTE Automotive, přesněji v jedné z poboček této společnosti nacházející se v městě Bitburg v Německu. Název firmy je společným označením výrobních závodů v Německu, České republice, Francii a Bulharsku. V Německu jsou vyráběny převážně kovové díly, které jsou následně převáženy do Čech, kde vznikají díly plastové a společně jsou montovány a testovány. V celosvětovém měřítku firma působí v rámci aliance VAST (Vehicle Access Systems Technology) v Asii, Jižní a Severní Americe. Dohromady s aliancí tvoří celosvětového dodavatele dílů pro automobilový průmysl. V České republice má firma zastoupení ve třech městech a to v Plzni, kde se nachází vývojová kancelář, Nejdku disponujícím vývojovým centrem, vzorkovnou, zkušebnou, nástrojárnou, sériovou montáží a stroji na zpracování plastu a v Ostrově, kde se nachází vstříkovna plastů, lakovna a montáž.

Samotná společnost vznikla roku 1899 v Německu a v první řadě se zaměřovala pouze na výrobu zámků kufrů. Dnes se již firma řadí mezi technologické lídry v oblasti zamykacích systémů kufrů, dveří, kapot a sedadel. Mezi další výrobky patří například kamerové systémy, kliky dveří, klíče aj. Společnost se zaměřuje nejen na samotnou výrobu a montáž, ale především na vývoj nových součástek. Na základě požadavků trhu dochází k neustálému rozšiřování spektra druhů a objemu produktů. Logo firmy a ukázka výrobku jsou znázorněny na obrázku 5.

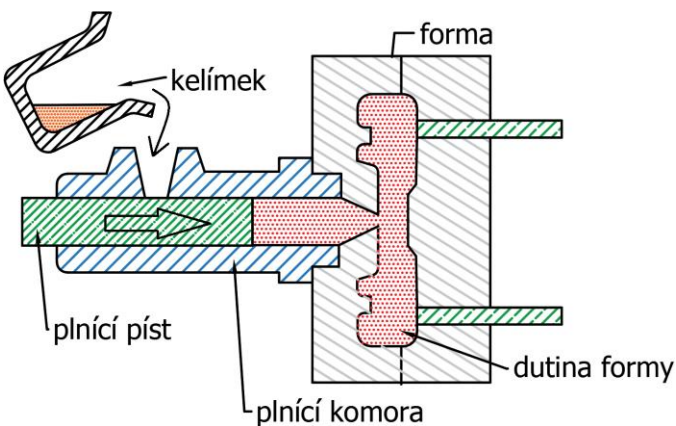


Obr. 5 Logo firmy a výrobek [10]

1.1 Variantní řešení výroby [3], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

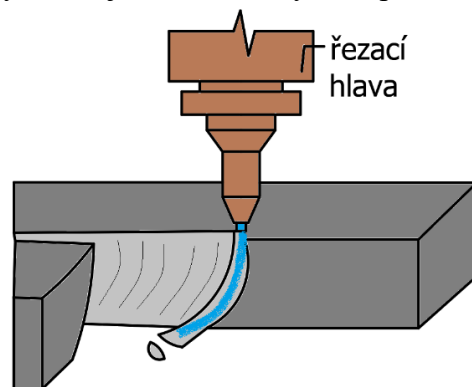
Díl lze zhotovit několika různými způsoby výroby. U zvolené technologie je důležité, aby byla splněna určitá kritéria. Mezi ty hlavní patří především hospodárnost a ekonomičnost výroby a konstrukční a rozměrové požadavky. Musí být také zohledněna velikost série a časová doba výrobního postupu. Do uvažovaných technologií patří:

- Odlévání – technologie, kterou je kov převeden do tekutého stavu a dopraven do dutiny formy, kde ztuhne na požadovaný tvar. Pro tento díl a zvolený materiál je nejvhodnější plnění formy tlakovým litím se studenou tlakovou komorou. Dochází k lití vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem, který přetrvává až do ztuhnutí odlitku. Hlavní výhody této výroby spočívá ve vhodnosti pro tvarově složité odlitky, jejich tvrdosti a dobré kvalitě povrchu. Vyrábět daný díl touto technologií je nevhodné, jelikož zvolený materiál se běžně neodlévá, odlitky jsou křehké a při používání by mohlo dojít k jejich prasknutí. Princip je zobrazen na obrázku 6.

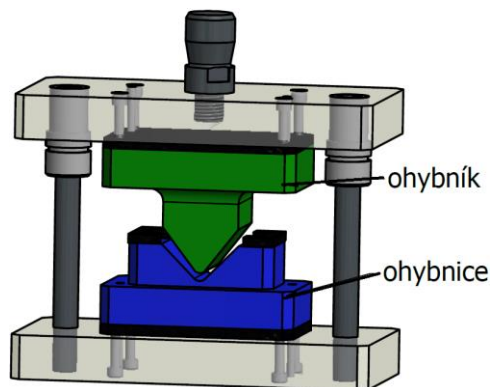


Obr. 6 Princip odlévání [12]

- Řezání vodním paprskem a ohyb v nástroji – pomocí vysokého tlaku vodního paprsku je materiál postupně obrušován (obr. 7). Díky nahromadění velkého množství energie lze provádět řezy do vysoce pevných, houževnatých nebo křehkých materiálů. Pohyb trysky s paprskem vody je řízen pomocí počítače a díky tomu je dosaženo vysoké přesnosti výroby. Nedochází k tepelnému namáhání materiálu, v němž následně nevzniká vnitřní pnutí. Polotovar není při výrobě chemicky ovlivněn a výsledný řez je bez mikrotrhlin a ořepů. Po vyřezání požadovaného tvaru plechu je třeba vytvořit ohyby pomocí nástroje (obr. 8). K přetvoření materiálu dochází díky ohybníku a ohybnici. Polotovar je jejich stlačováním ohýbán do požadovaného úhlu. Při překročení meze kluzu v materiálu dochází ke vzniku plastické deformace, tedy trvalé změně tvaru. Zbylé profily, jako jsou prolisy a lemy, je nutné vytvořit zvlášť dalšími nástroji. V případě lemovaných otvorů lze využít technologii flowdrill - v češtině je nazývána jako průtočné vrtání, či třecí vrtání. Princip spočívá v protlačení rotujícího kuželového vrtáku do materiálu, který se díky tření zahřívá, změkčuje se a umožňuje vrtáku projít materiálem a vytvořit lemovaný otvor. Díky tomuto způsobu lze vytvořit lem až 3x delší, než je původní tloušťka plechu, proto se využívá především u tenkých materiálů. Pomocí této varianty výroby by bylo ke zhotovení výrobku zapotřebí čtyř samostatných nástrojů na stříhání,

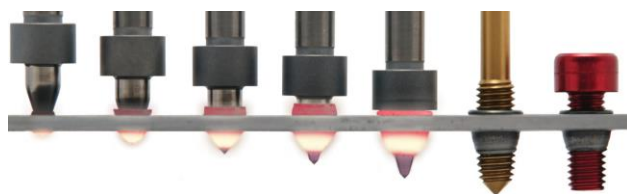


Obr. 7 Řezání vodním paprskem [13]



Obr. 8 Příklad ohýbacího nástroje [17]

ohýbání, lemování a ražení, což má za následek vysoké výrobní časy. Navíc na obrázku 9 lze vidět, že při vytváření lemu se materiál dostává i proti směru pohybu trnu a musel by být použit speciální trn s nožem.



Obr. 9 Princip technologie flowdrill [15]

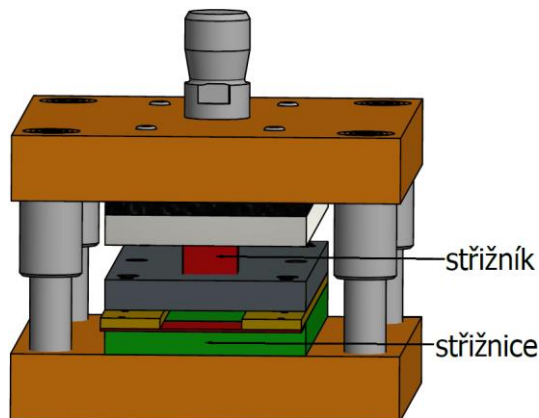
Vzhledem k těmto faktům je varianta nevyhovující.

- Vysekávání a ohýbání – při vysekávání materiálu je využíváno tzv. razníků a matric (obr. 10). Dochází k oddělení materiálu pomocí protilehlých břitů nožů. Mezi hlavní výhody vysekávacích strojů patří nízká cena nástrojů, jednoduché seřízení a programování stroje, vysoká kvalita výrobků a především všestranné využití. Stroj umožňuje děrování plechu, vytváření prolisů, lemů a ohybů. Díky plynulé 360° rotaci nástrojové hlavy dochází ke snížení potřeby velkého počtu nástrojů. Touto technologií lze vytvořit tři různé druhy operací na jedné lince, pouze ohýbání je nutné provádět zvlášť v ohybovém nástroji. Důvodem jsou různé směry ohnutých úseků, které na této lince vytvářet nelze. S přihlédnutím k velikosti výrobní série je tato varianta nevhodná, protože při ní vznikají vysoké výrobní časy, způsobené nutností využívat dva stroje.



Obr. 10 Vysekávací nástroj [16]

- Postupový sdružený nástroj – jedná se o způsob výroby, při kterém lze v jednom nástroji plech stříhat, děrovat, ohýbat, razit a lemovat. Stříhání se uskutečňuje pomocí pohyblivých střížníků a pevných střížnic. Materiál je postupně nebo současně oddělován působením protilehlých střížných hran. Ohýbání bude provedeno stejným způsobem, jako je popsáno v předešlých variantách. Dále lze v nástroji také vytvářet lemované otvory pomocí tažení. Tato operace se uskutečňuje protahováním předem vystřiženého otvoru trnem o větším průměru, než je vytvořený otvor. Dochází k přeměně rovinné plochy na plochu prostorovou. Poslední technologie výroby je nazývána ražení. Tímto způsobem dochází ke změně hloubky polotovaru a materiál vyplňuje prostor, který je vymezen tvarovým razníkem a raznicí. V případě vyráběné součásti se jedná o 2 zpevňující ražení, která slouží ke zlepšení mechanických vlastností a jeden montážní prolis. Kryt zámku se touto metodou vyrobí rychleji, než u předešlých variant a celý tvar lze vyhotovit na jednom stroji. Příklad stříhadla je na obrázku 11.

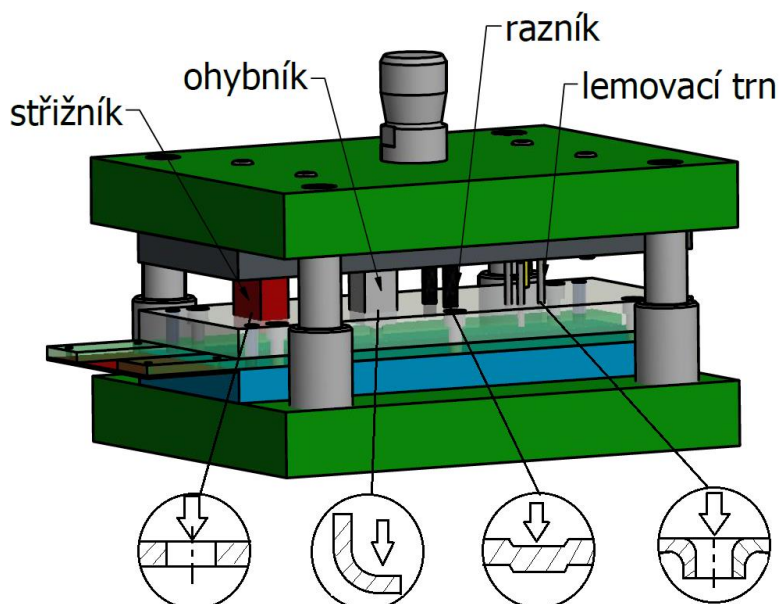


Obr. 11 Příklad stříhadla [17]

Vzhledem k posouzení tvaru součásti a její výrobní série se jako neoptimálnější jeví metoda výroby pomocí postupového sdruženého nástroje, na což se zaměří teoretická i návrhová část práce.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY [17], [18]

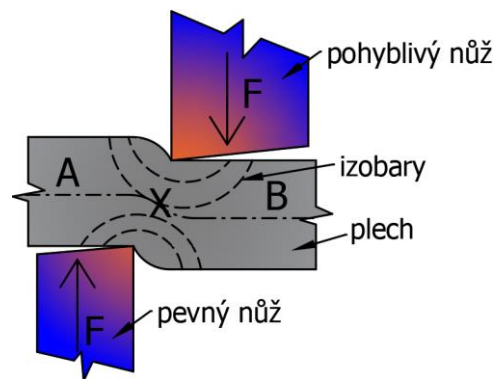
Z rozboru byl pro výrobu zvolen postupový sružený nástroj, který je zobrazen na obrázku 12. Jako polotovary se u těchto nástrojů používá tabule plechu, nebo plechový svitek. Každým zdvihem nástroje lze vykonat až čtyři různé operace (stříhání, ohýbání, ražení a lemování). Tyto nástroje jsou vhodné především pro velkosériovou výrobu a při jejich správném užívání dochází k poklesu ceny za vyrobený díl.



Obr. 12 Příklad postupového sruženého nástroje [17]

2.1 Stříhání [2], [3], [16], [17], [18], [19], [20], [21]

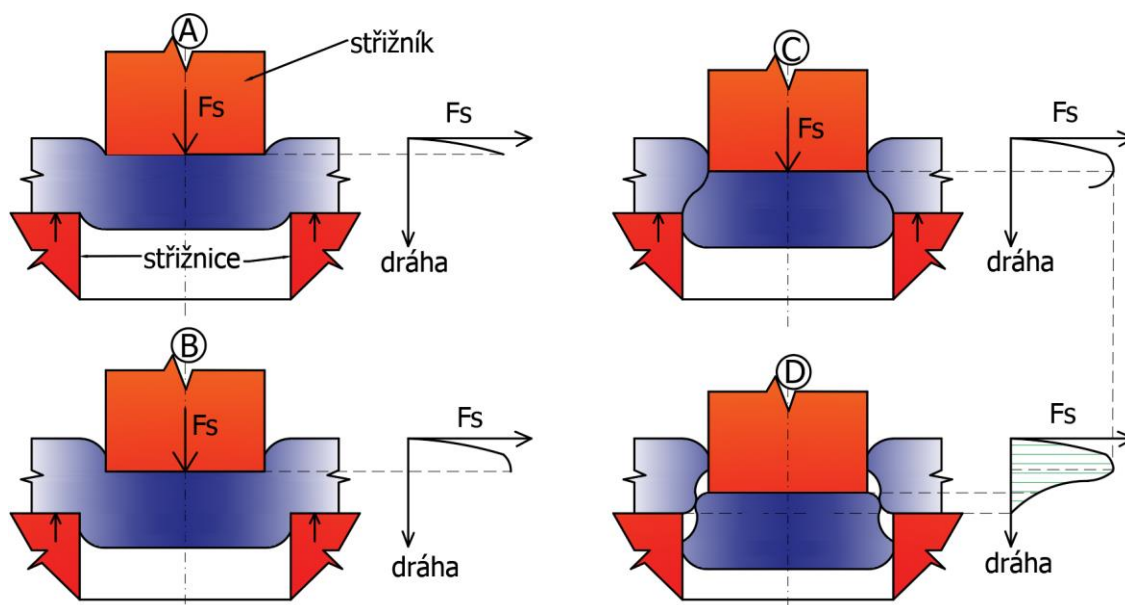
Princip spočívá v postupném zatlačování stříhacích nožů do materiálu tak, aby došlo k jeho oddělení v tzv. střížné rovině. Nože bývají nejčastěji rovnoběžné, nebo skloněné. Hrany pevných a pohyblivých ostří působí podél čáry stříhu. V materiálu dochází k šíření tlaku od místa dotyku s noží v plochách, které jsou znázorněny pomocí izobar na obrázku 13. Dále se v této oblasti přesouvá materiál proti sobě (část A a B) podél střížné plochy, ve které vzniká tahové napětí. K přetvoření dochází v okolí bodu X. Průběh střížného procesu lze rozdělit do čtyř fází, a to od dosednutí střížníku (pohyblivého nože) až po konečné oddělení materiálu:



Obr. 13 Průběh stříhání [19]

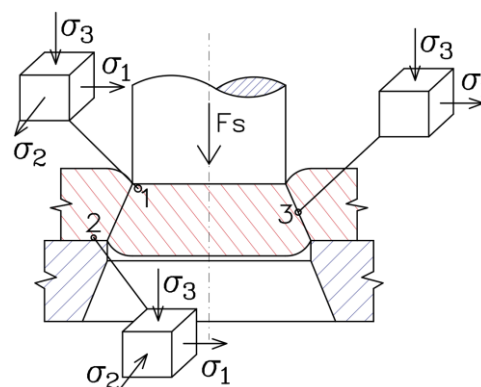
- První fáze – nastává pružný a plastický ohyb bez jakéhokoliv oddělení materiálu. Až po meze kluzu zde vzniká pouze pružná deformace. Po jejím dosažení a překročení se pružný ohyb vláken mění na plastický. V závislosti na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu bývá první fáze do 5-8 % hloubky. Proces je popsán v obrázku 14 A.
- Druhá fáze – vzniká plastický, neboli čistý stříh (obr. 14 B). Ve směru maximálních smykových napětí vzniká trhlinka a materiál se těmito napětími odděluje. Velikost hloubky vniknutí střížné hrany (10-25 %) je závislá na plastických a pevnostních vlastnostech materiálu.
- Třetí fáze – materiál je oddělen odtrhnutím (obr. 14 C). Vznikají další trhliny, díky převažujícímu tahovému napětí v oddělovaném průřezu o velikosti dosahující porušení vláken. Dalším postupem nožů se šíření trhlin urychluje a nastává lom.

- Čtvrtá fáze – probíhá po oddělení materiálu. Střížný proces je ukončen po vytlačení odstřížku (nebo výstřížku) z polotovaru. Poslední fáze je popsána obrázkem 14 D.



Obr. 14 Fáze procesu stříhání [18], [19]

V místech střížné roviny dochází ke vzniku různých stavů napjatosti. Schéma těchto napjatostí je znázorněno na obrázku 15. Bod 1 se vyskytuje těsně pod hranou střížníku. V tomto místě se nachází prostorová napjatost a to ve dvou směrech tahová ' σ_1 ' a ' σ_2 ' a v jednom tlaková ' σ_3 '. V případě výskytu pouze ' σ_1 ' a ' σ_3 ' by nastal čistý smyk. Bod 2 se nachází nad střížnicí. Zde působí dvě tlaková napětí ' σ_3 ' a ' σ_2 ' a jedno tahové ' σ_1 '. Poslední bod 3 je umístěn ve střední části střížné roviny je zde vidět pouze tlakové napětí ' σ_3 ' tahové ' σ_1 '. V tomto místě se napjatost nejvíce přibližuje čistému smyku a intenzita přetvoření dosahuje nejmenší hodnoty. V průběhu procesu stříhání se ve všech těchto oblastech hlavní osy přetvoření a napětí natáčejí. V případě ideálních podmínek a dostatečně velkého tlakového napětí lze vytvořit čistý stříh a hladkou oddělenou plochu. Při špatném natočení (zvýšení tahové napjatosti a pokles tlakové) vznikne vrub se šířící se trhlinou (tvar písmene 'S').



Obr. 15 Stav napjatosti stříhání [18], [19]

2.1.1 Střížná plocha a vůle [16], [17], [18], [19]

Střížná plocha je tvořena čtyřmi hlavními oblastmi. Jejich kvalita je závislá na několika faktorech, mezi něž patří mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu, způsob stříhání (přesné stříhání kvalitu zlepšuje), střížná síla, použití přidržovače atd. Úměrně s deformačním stupněm roste v okolí této plochy zpevnění materiálu a klesá jeho tvárnost. Jednotlivé čtyři oblasti jsou:

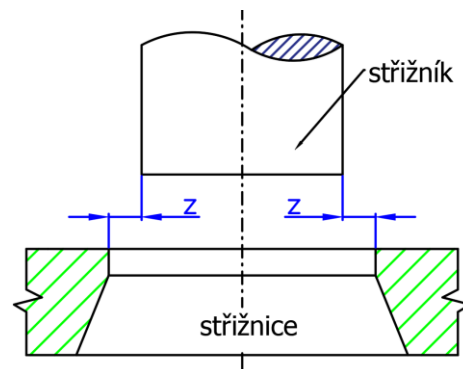
- pásmo zaoblení – pružná deformace,
- pásmo čistého plastického stříhu,
- pásmo utržení – přibývá s křehkostí a tvrdostí materiálu,
- pásmo otlacení od spodního nože – možnost výskytu ostržin.

Schéma jednotlivých pásem střížné plochy je zobrazeno na obrázku 16 a je rozděleno zvlášť pro vystřihování (A) a pro děrování (B).



Obr. 16 Střížná plocha [19]

Při stříhání je prostor mezi okrajem pohyblivého střížníku a pevnou střížnicí nazýván střížnou mezerou. Součet mezer na obou stranách nástroje dává střížnou vůli (obr. 17). Hlavní činitelé, kteří mají vliv na její velikost, jsou především tloušťka a druh materiálu, tvar a tolerance výstřížku a střížných nástrojů a střížná síla, se kterou souvisí opotřebení nástrojů. Pro přímé určení je přihlédnuto k pevnosti ve stříhu materiálu a jeho tloušťce. Pro plechy tloušťky menší než 3 mm se výpočet provede následovně:



Obr. 17 Střížná vůle [17]

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot C \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot C \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot R_m} \quad [\text{mm}], \quad (2.1)$$

kde: v - střížná vůle [mm],

z - střížná mezera [mm],

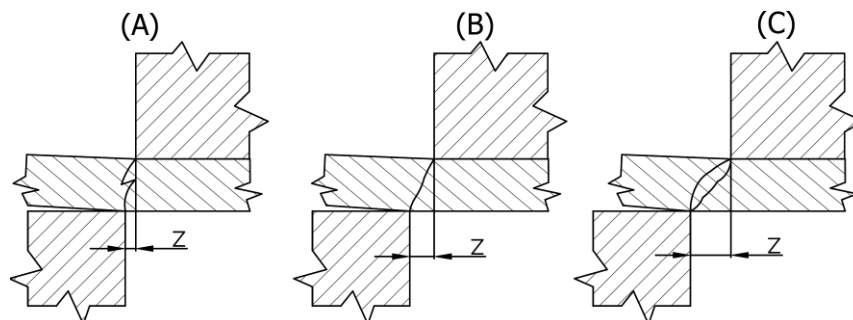
C - součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 – 0,035) [-],

t - tloušťka plechu [mm],

τ_s - střížný odpor [MPa],

R_m - mez pevnosti v tahu [MPa].

Ideální střížná vůle (obr. 18 B) je taková, kdy se při malé střížné síle vytvoří dobrá střížná plocha. U nesprávně zvolené malé střížné vůle (obr. 18 A) dochází ke zvýšení střížné síly a práce, která způsobuje vícenásobný stříh a snižuje ohyb v první fázi. Naopak při velké střížné vůli (obr. 18 C) je velké počáteční přetvoření, materiál je vtahován do střížné mezery, boční hrany nástroje jsou více namáhány a vzniká nekvalitní střížná plocha s velkými ostřinami.



Obr. 18 Příklady velikostí střížné vůle [18]

2.1.2 Rozmístění výstřížků [17], [18], [19]

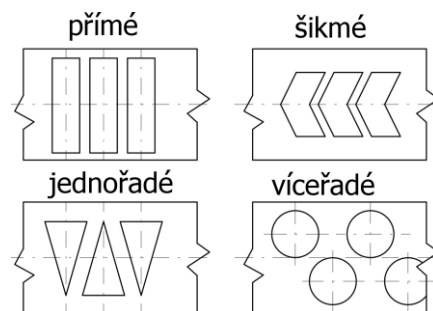
Stříháním je vyráběna součást z navinutého svitku, nebo tabule plechu. Při volbě vhodného rozmístění dílu je cílem vytvoření minimálního zbytkového materiálu. Umístění součásti může být například přímé, jednořadé, víceřadé, či šikmé (obr. 19) a její vystřihování lze provést buď s odpadem, nebo bezodpadově (dělením polotovaru na hotové díly). Volbu řešení ovlivňuje především tvar a tolerance hotového výrobku. Využití materiálu lze vypočítat:

$$\eta = \frac{S_{vsv}}{S_{sv}} \cdot 100 \quad [\%], \quad (2.2)$$

kde: η - využití materiálu [%],

S_{vsv} – plocha výstřížků ze svitku [mm²],

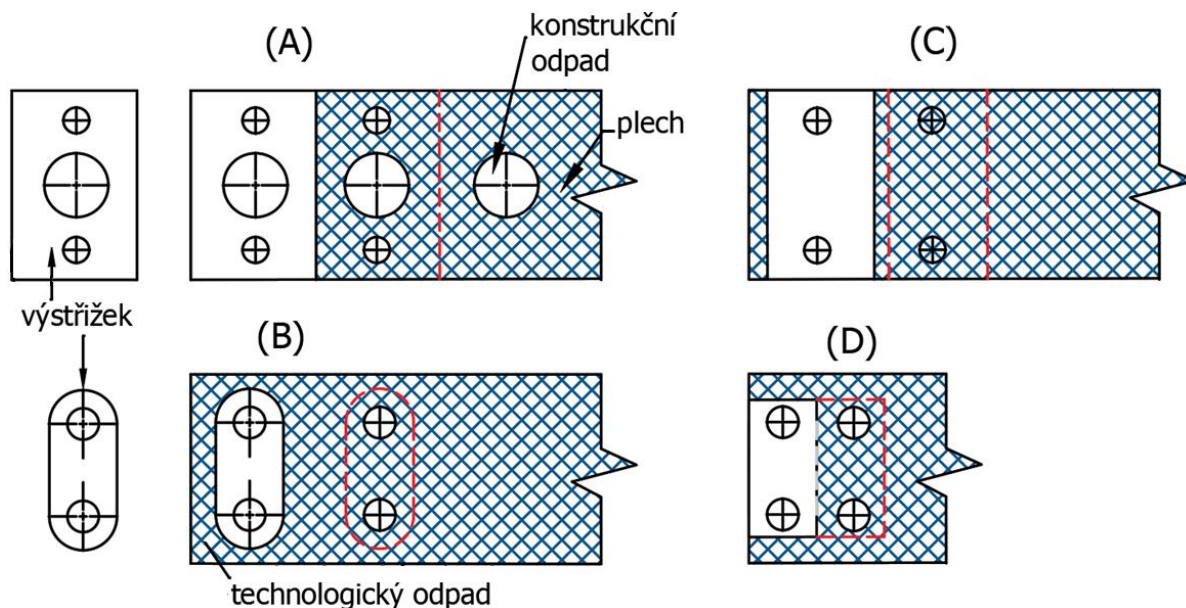
S_{sv} – plocha svitku plechu [mm²].



Obr. 19 Způsoby umístění výstřížku na plech [19]

Odpad, který při výrobě vzniká, je dále dělen na konstrukční (vzniklý při děrování) a technologický (zbytek po vystřihnutí dílu), díky němuž lze rozlišit čtyři základní typy rozmístění výstřížku:

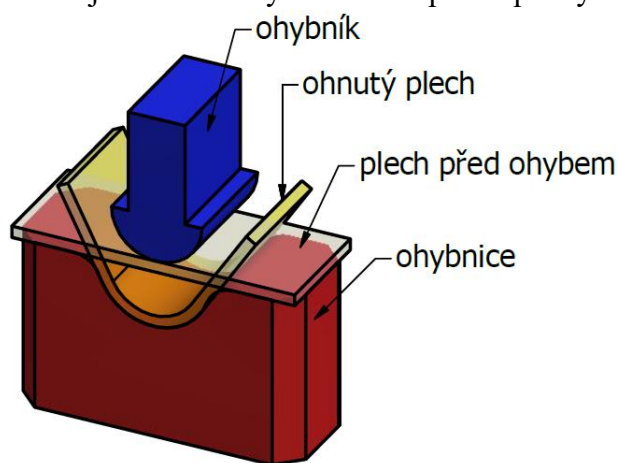
- bez můstku a postranního odpadu (obr. 20 A) – stříhání bez technologického odpadu, pouze se může vyskytnout konstrukční díky děrování
- s můstkem a postranním odpadem (obr. 20 B) – největší množství odpadu, většinou při stříhání složitých tvarů a velmi přesných výstřížků,
- bez postranního odpadu (obr. 20 C) – není potřeba přesná tolerance výstřížku,
- s postranním odpadem (obr. 20 D) – odpad po straně, chybí můstek, např. víceřadé nástřihové plány.



Obr. 20 Způsoby rozmístění výstřížků podle odpadu [18]

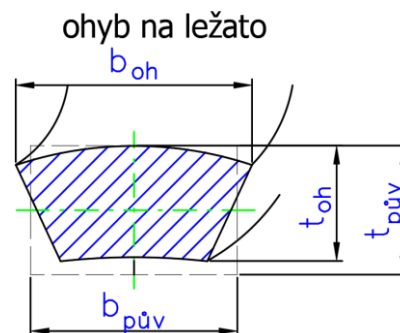
2.2 Ohýbání [1], [2], [3], [17], [18], [22], [23], [24]

Ohýbání je proces plošného tváření, při kterém dochází k trvalému tvarování materiálu vlivem působení ohybového momentu vnějších sil. Jeho princip, včetně hlavních dílů nástroje, je zobrazen na obrázku 21. Horní pohyblivá část je tvořena ohybníkem a spodní pevný díl ohybnicí. Plech je stlačováním ohybníku do ohybnice postupně tvarován do různých úhlů s menším či větším zaoblením hran. Proces je provázen vznikem pružných a plastických deformací v materiálu. U pružných deformací je plech navrácen do původního tvaru, ale v případě, kdy dojde k dosažení meze kluzu, vzniká deformace plastická, při níž je již plech trvale deformován. Vliv na její velikost má především druh materiálu, tloušťka, orientace vzhledem ke směru válcování, velikost ohybových momentů a poloměr ohybu.



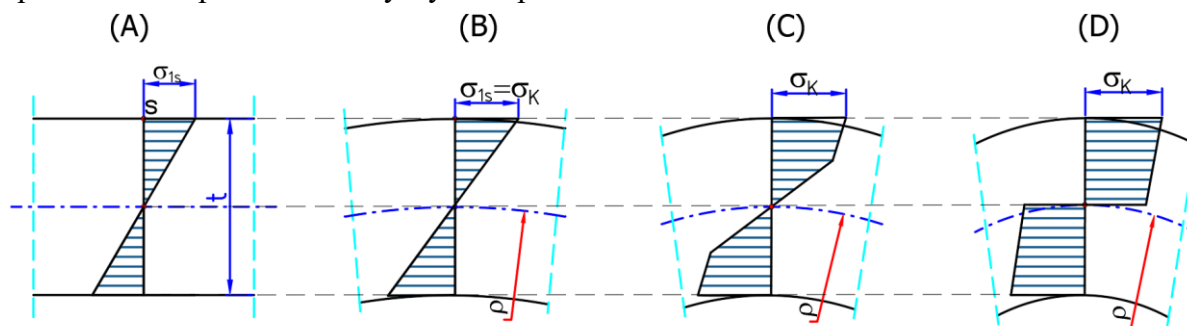
Obr. 21 Princip ohýbání [18], [24]

Při ohýbání je dalším důležitým bodem změna velikosti napětí a intenzivní přetvoření, které se zvětšující se výškou průřezu roste. V obrázku 22, popisujícím deformovaný průřez po ohýbání, lze vidět, že materiál je na vnější straně ohybu stlačován ve směru příčném a roztahován a prodlužován ve směru podélném. Na vnitřní straně dochází k opačným pochodům, kdy v podélném směru dochází ke stlačování a zkracování materiálu a ve směru příčném k jeho roztahování.



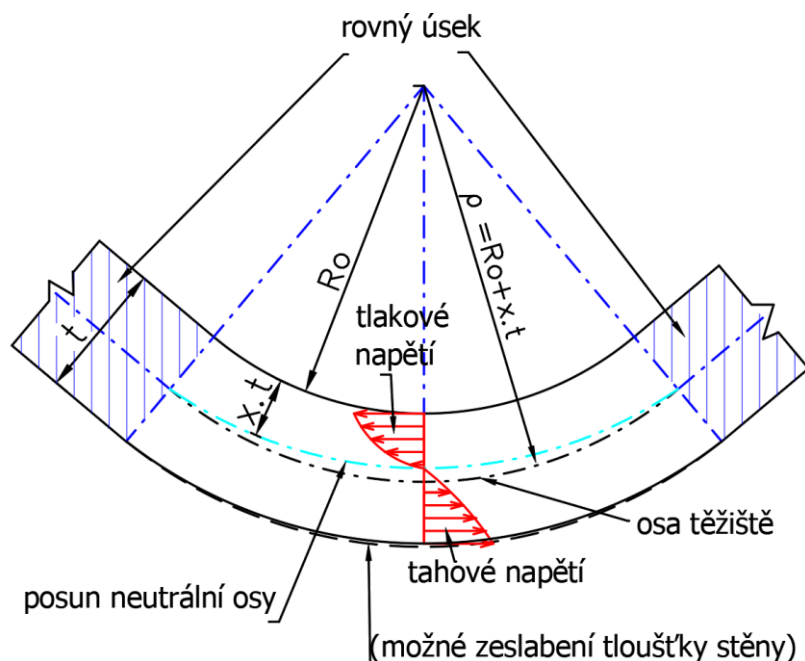
Obr. 22 Deformovaný průřez po ohýbání [24]

Pomocí změny průběhu napětí může být ohýbání rozděleno do několika fází popsaných obrázkem 23. Změna nastává především v krajních vláknech tvářeného materiálu a roste s velikostí ohybu. V oblasti střední části průřezu dosahuje nižších hodnot, než mez kluzu. Na vnitřní straně ohybu působí tlakové a na vnější tahové. První fáze je doprovázena pouze pružnou deformací (obr. 23 A), kdy se materiál navrácí do původního tvaru. Následuje dosažení meze kluzu v krajních oblastech (obr. 23 B), poté vzniká pružně-plastický ohyb se zpevněním (obr. 23 C), kdy v okrajích průřezu plechu vzniká ohyb plastický a ve střední části pružný. Celý proces je zakončen plastickým ohybem (obr. 23 D), ale kolem neutrální osy se i po ukončení operace může vyskytnout pružná deformace.



Obr. 23 Napětí ve fázích ohybu [3]

Oblast, ve které dochází k přeměně tlakového napětí na tahové, se nazývá neutrální osa. Její poloha je důležitá především pro určení rozvinuté délky polotovaru, jelikož při ohybu nedochází k jejímu zkracování či prodlužování a nepůsobí zde žádné napětí. V případě velkých poloměrů ohybu ($R_o \geq 12 \cdot t$) zůstává osa uprostřed průřezu materiálu, jinak dochází k jejímu posunu k vnitřní straně ohybu a zeslabení tloušťky materiálu, jak je zakresleno v obrázku 24.



Obr. 24 Napětí a neutrální osa [2]

Pro stanovení poloměru neutrální osy z obrázku 24 je nutné zohlednit, o jaký ohyb se jedná. V případě vyráběného dílu bude využit vzorec pro ohyb širokých pásů plechu, kde šířka $> 3 \cdot t$:

$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [\text{mm}], \quad (2.3)$$

kde: ρ - poloměr neutrální osy [mm],

R_o - poloměr ohybu [mm],

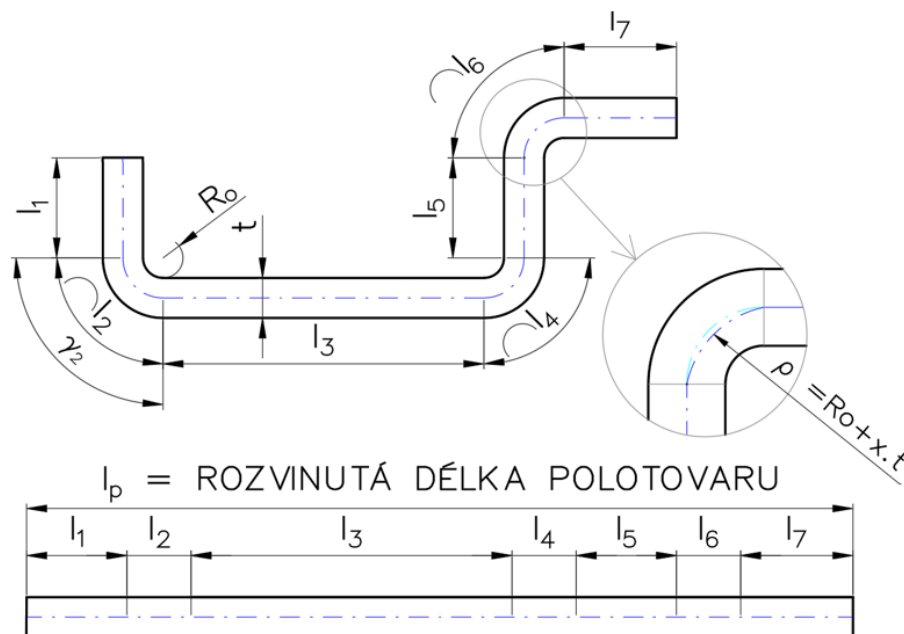
x - součinitel posunutí neutrální osy (tab. 2) [-].

Tab. 2 Hodnoty součinitele posunutí neutrální osy [24]

$\frac{R_o}{t}$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,486

2.2.1 Rozvinutá délka polotovaru [2], [23], [24], [25]

Pro stanovení rozvinuté délky polotovaru je nutné vycházet z délky neutrální osy. Její rozměr zůstává po ohybu neměnný. Součást se při výpočtu rozdělí na rovné a ohnuté úseky, jejichž velikost je závislá na úhlu oblouku a součiniteli posunutí neutrální osy, tloušťce materiálu a poloměru ohybu. Způsob rozdělení dílu na úseky je znázorněn na obrázku 25.



Obr. 25 Rozvinutá délka polotovaru [25]

Postup výpočtu na základě výše uvedeného obrázku má dvě části. V první řadě se vypočtou délky ohnutých úseků. V druhé části se počítá již samotná rozvinutá délka polotovaru, jako součet ohnutých a rovných úseků:

- výpočet délky ohnutého úseku l_n :

$$l_n = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [\text{mm}], \quad (2.4)$$

kde: l_n - délka ohnutého úseku [mm],

γ - úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$) [°],

α - úhel ohybu [°].

- výpočet rozvinuté délky polotovaru l_p :

$$l_p = \sum_{i=1}^u l_n + \sum_{k=1}^r l_g \quad [\text{mm}], \quad (2.5)$$

kde: l_p - rozvinutá délka polotovaru [mm],

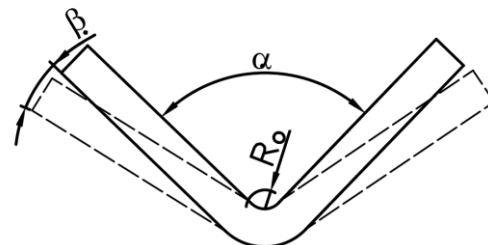
l_s - velikost délky s-tého rovného úseku [mm],

j - počet rovných úseků,

u - počet ohnutých úseků.

2.2.2 Odpružení a poloměr ohybu [2], [3], [17], [18], [24]

Díky změně velikosti namáhání v ohýbaném průřezu nedochází ve všech vláknech k překročení napětí nad mez kluzu. V okolí neutrální osy se i po ukončení působení vnějších sil může vyskytnout pružná deformace. Kvůli její existenci má materiál snahu se navrátit do původního stavu před ohýbáním. Tento jev se nazývá odpružení (obr. 26). Vliv na jeho velikost má především vnitřní pnutí, které má opačný směr, než napětí během ohýbání. V materiálu vzniká díky výskytu pružných a plastických deformací. Úhel odpružení ' β ' také roste se zvětšující se délkou ohýbaného ramene. Další činitelé, kteří ovlivňují jeho velikost, jsou především mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, poloměr a úhel ohybu, tloušťka materiálu a také konstrukce ohýbacího nástroje či velikost jeho tlaku na konci ohýbání. Existuje více způsobů, jak stanovit velikost:



Obr. 26 Odpružení [24]

- pomocí předem vypracované tabulky s hodnotami odpružení pro vybrané materiály:

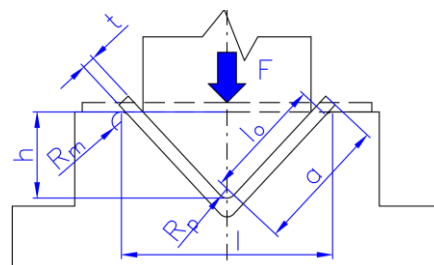
Tab. 3 Hodnoty odpružení [24]

Ro/t	Materiál – ocel σ_{pt}		
	< 320 MPa	320 ÷ 400 MPa	> 400 MPa
0,8 ÷ 2	1°	3°	5°
> 2	3°	5°	7°

- výpočet odpružení pro ohyb tvaru 'V' pomocí vztahu:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad [^\circ], \quad (2.6)$$

kde: β - úhel odpružení [°],
 R_e - mez kluzu [MPa],
 l - vzdálenost ohýbacích částí (obr. 27) [mm],
 E - modul pružnosti v tahu [MPa],
 k - koeficient ohybu (tab. 4) [-].



Obr. 27 Ohyb s parametry pro odpružení [24]

Tab. 4 Hodnoty koeficientu ohybu [17]

$\frac{R_o}{t}$	0,1	0,25	0,35	1	2	3	4	5	6	8	10
k	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51

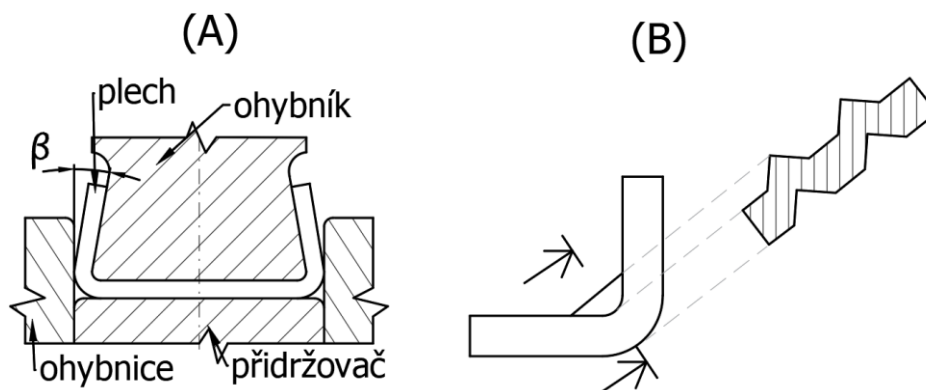
- Stanovení odpružení z diagramu v příloze 1 z určení koeficientu 'k' dle vzorce:

$$k = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_1 + 0,5 \cdot t}{r_2 + 0,5 \cdot t} \quad [-], \quad (2.7)$$

kde: α_1, r_1 - úhel a poloměr ohýbadla,
 α_2, r_2 - konečný poloměr a úhel na ohýbaném díle.

Odpružení materiálu při ohýbání je možné snížit nebo zcela vyloučit a to pomocí:

- podbroušení ohybníku o úhel (ohnutí materiálu více a to o úhel α , obr. 28 A)
- zaoblení spodní hrany ohybníku,
- postupné ohýbání s odlehčením ohybnice,
- vylisování vyztužovacího žebra (obr. 28 B),
- použití kalibrace – zvětšení síly na konci ohýbání (závisí na vlastnostech a toleranci materiálu, tlaku a konstrukci nástroje).



Obr. 28 Příklady eliminace odpružení [17], [25]

Dalším důležitým bodem u ohýbání je dodržení poloměru ohybu. Vzhledem k tvaru krytu zámku bude uvažováno pouze o dodržení minimálního poloměru ohybu – je to nejmenší poloměr, který lze na materiálu ohnout bez jeho porušení ve vnějších krajních vláknech. Při jeho nedodržení překročí tahové napětí mez pevnosti a materiál se na vnější straně poruší a dojde ke vzniku trhliny. Vliv na jeho velikost má především tažnost materiálu, jeho tloušťka, povrch a směr vláken při ohýbání. Při ohybu kolmém na směr vláken je hodnota minimálního poloměru menší, než při ohybu ve směru vláken. Také je důležité přihlédnout k tomu, na jaké straně se nacházejí ostřiny vzniklé stříháním polotovaru. Když to výroba umožňuje, doporučuje se je umisťovat na vnitřní stranu ohybu, aby se zabránilo předčasnému vzniku trhlin. Výpočet poloměru se provede:

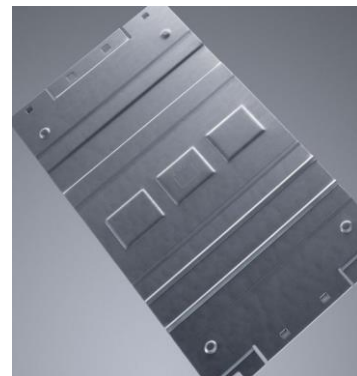
$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_0} - 1 \right) = c_r \cdot t \quad [\text{mm}], \quad (2.8)$$

kde: R_{\min} - minimální poloměr ohybu [mm],
 c_r - koeficient, u měkké oceli = $0,5 \div 0,6$ [-],
 ε_0 - mezní prodloužení krajního vlákna [-],

$$\varepsilon_0 = \frac{t}{2 \cdot R_{\min} + t} \quad [-]. \quad (2.9)$$

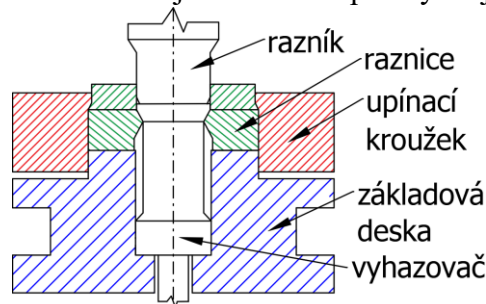
2.3 Ražení a lemování [3], [17], [18], [26], [27]

Ražením dochází ke změně hloubky tvářeného materiálu. Plech vyplňuje prostor stanovený tvarovou raznicí a razníkem a vzniká prolis (obr. 29), jehož tvarová a rozměrová přesnost je závislá především na druhu raženého materiálu a velikosti dílu. U běžné výroby se tolerance pohybuje přibližně $\pm 0,05 \div 0,1$ mm. Hlavní funkční části jsou tvořeny pevnou raznicí a pohyblivým razníkem. Ten postupným stlačováním plechu do raznice přetváří materiál, ve kterém vzniká velké množství plastických deformací. Touto technologií se zpracovávají většinou dobře tváritelné slitinové a uhlíkové oceli, hliník a jeho slitiny, měď, drahé kovy aj. Během stlačování razníku vzniká vysoký tlak, proto nástroje vyhotovené pro tento způsob výroby musejí mít velkou tuhost a funkční díly vyrobené z nástrojových ocelí. Jejich životnost bývá $5\,000 \div 10\,000$ ks při ražení oceli a u lehkotvářitelných slitin přibližně 150 000 kusů. Ražení je možné rozdělit do několika skupin:



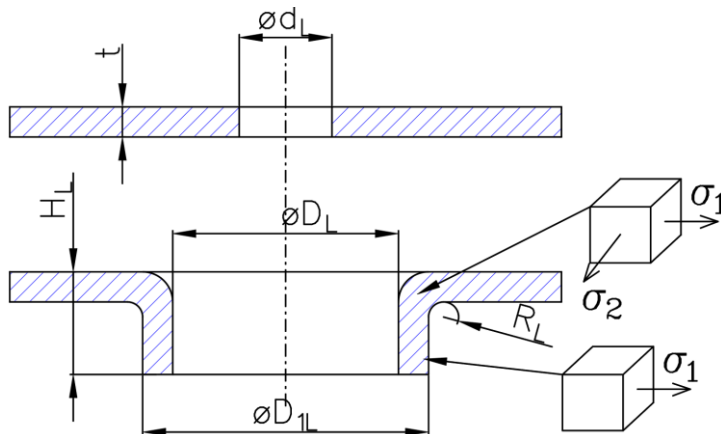
Obr. 29 Ukázka prolisů vzniklých ražením [26]

- Ražení v uzavřených razidlech – využívá se na výrobu mincí, uměleckých předmětů, medailí, dílů měřicích přístrojů. Vložený plech do nástroje musí mít přesný objem a poměr výšky k průměru by měl být menší, než 0,5 (obr. 30).
- Ražení v otevřených razidlech – pro výrobu rozměrově větších předmětů, odznaky, přístroje. Hlubší reliéf prolisu se provádí buď v postupovém nástroji, nebo vícenásobným ražením.
- Rýhování – vytvoření prolisu tvaru rýhy.
- Značkování – výroba nápisů a značení.



Obr. 30 Ražení v uzavř. razidlech [27]

Lemování je proces, u něhož dochází k přeměně rozvinutého plechu (přístřihu) na prostorové těleso. V případě lemování otvoru je okraj otvoru postupným sjížděním lisovníku (lemovacího trnu) do lisovnice (matrice) protahován "ohýbán". Protahováním předem vystřiženého otvoru vzniká prostorová deformace s napjatostí, která je zobrazena na obrázku 31. Během operace může docházet k natrhávání okraje otvoru, což vede k nekvalitnímu lemu. Technologie se využívá v automobilovém a leteckém průmyslu například pro zlepšení tuhosti nebo k vytvoření závitu u tenkých plechů. Výška lemu H_L je závislá na průměru vystřiženého otvoru d_L a na tažnosti tvářeného plechu. Rozměr otvoru je dán vztahem:



Obr. 31 Lemování otvoru [3], [17]

$$d_L = D_L - 2 \cdot (H_L - 0,43 \cdot R_L - 0,72 \cdot t) \quad [\text{mm}], \quad (2.10)$$

kde: d_L - průměr předstřiženého otvoru [mm],

D_L - vnitřní průměr lemu [mm],

H_L - výška lemu [mm],

R_L - poloměr ohybu lemu [mm].

2.4 Síla a práce [2], [3], [17], [18], [19], [20], [21], [24]

Vzhledem ke zvolené technologii výroby pomocí postupového sduženého nástroje je důležitým parametrem velikost tvářecí síly a práce. Výpočet síly je důležitý především pro následnou volbu vhodného tvářecího stroje a při konstrukci nástroje (umístění stopky). Každá ze zvolených technologií má vlastní způsob výpočtů, které jsou závislé na různých faktorech, a proto je potřeba se zabývat každou zvlášť:

- Stříhání – během této technologie dochází k růstu střížné síly do určitého maxima. Poté, co v materiálu dojde ke vzniku trhliny, síla začne klesat a po jeho oddělení po celé ploše, dojde síla na nulu. Její průběh pro rovnoběžné nože je zobrazen na obrázku 32. Nože během stříhání nepůsobí ideálně v rovině a musí mezi nimi být určitá mezera. Při jejich použití je hlavní nevýhodou vznik velké okamžité síly, která působí rázem. Během stříhu je materiál kombinovaně namáhán, proto u výpočtu musí být přihlédnuto k otupení nožů nástroje. Vzorec pro výpočet síly má následující tvar:

$$F_s = S \cdot \tau_s \cdot n \quad [\text{N}], \quad (2.11)$$

kde: F_s - střížná síla [N],

n - součinitel otupení (1,2 - 1,55) [-],

S - střížná plocha [mm²].

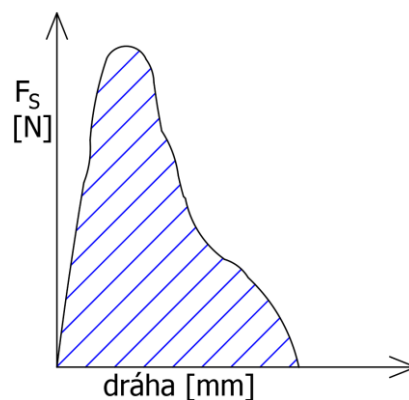
Práce potřebná na ustřížení dílu se vypočte jako integrál síly po dráze znázorněné na obrázku 32. Potřebné přesné hodnoty práce lze získat nahrazením průběhu síly eliptickou závislostí. Jedna poloosa elipsy je $a_e = F_s$ a druhá je rovna hloubce zatlačení střížníku do plechu $b_e = \frac{1}{2} \cdot x \cdot t$ (obr. 33). Po nahrazení křivky má vzorec tvar:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot x_s \cdot t \cdot F_s \quad [\text{J}], \quad (2.12)$$

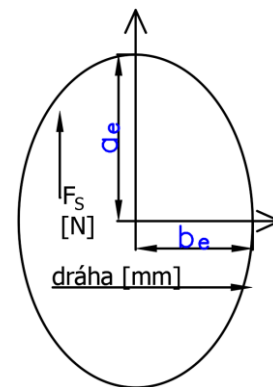
kde: A_s - střížná práce [J],

x_s - součinitel, pro ocel s $R_m = 350-700$ MPa a tloušťkou $t = 1 \div 2$ mm v rozmezí 0,55 – 0,35 [-].

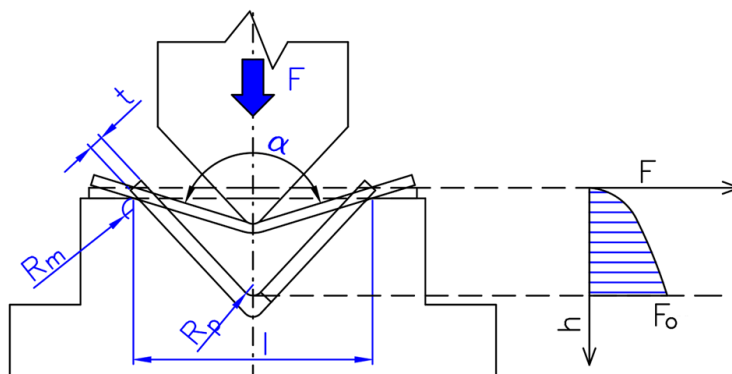
- Ohýbání – na základě tvaru součástky budou použity vzorce pro ohyb do tvaru 'V'. Mezi hlavní činitele ovlivňující velikost síly jsou mez kluzu, šířka a tloušťka materiálu, poloměr neutrální osy a úhel ohybu. Schéma ohýbání a průběh síly je zobrazen na obrázku 34.



Obr. 32 Průběh střížné síly [19]



Obr. 33 Aproximace střížné síly pomocí elipsy



Obr. 34 Schéma ohýbání do tvaru 'V' [24]

Výpočet ohybové síly:

$$F_o = \frac{Re \cdot b_m \cdot t^2}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad [\text{N}], \quad (2.13)$$

kde: F_o - ohybová síla [N],
 b_m - šířka materiálu [mm].

V případě, kdy se provádí ohyb s kalibrací (obr. 35), je potřeba uvažovat také se silou kalibrační ' F_K ', jejíž velikost je $F_K = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o$. Výsledná ohybová síla ' F_{cok} ' má poté tvar:

$$F_{cok} = F_o + F_K \quad [\text{N}]. \quad (2.14)$$

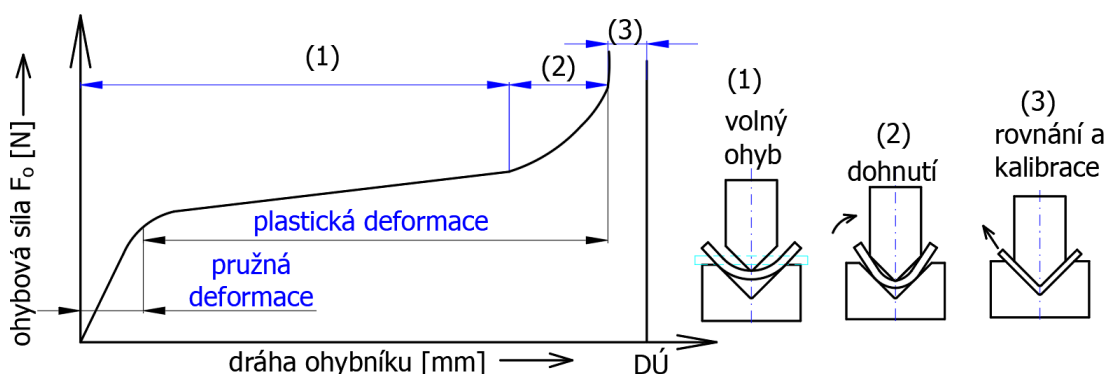
Ohybová práce je závislá na výšce zdvihu ohybníku, ohybové síle a součiniteli zaplnění pracovního diagramu:

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \quad [\text{J}], \quad (2.15)$$

kde: A_o - ohybová práce [J],
 h - výška zdvihu ohybníku [mm],
 ψ - součinitel zaplnění pracovního diagramu (0,5 ÷ 0,65) [-].

Při použití kalibrace se přičte k síle ohybové i síla kalibrační a celková práce ' A_{cok} ' je ve tvaru:

$$A_{cok} = (F_o + F_K) \cdot h \cdot \psi \quad [\text{J}]. \quad (2.16)$$



Obr. 35 Průběh ohybové síly s kalibrací [24]

- Ražení – pro výpočet velikosti razící síly lze použít dva druhy výpočtu, přičemž oba jsou závislé na ploše razeného výlisku. V případě prvního vzorce se uvažuje také s mezí pevnosti materiálu a se součinitelem přetvárného odporu a druhý je závislý na tvářecím tlaku:

$$\text{a) } F_R = n_R \cdot R_m \cdot S_{vyl} \quad [\text{N}], \quad (2.17)$$

kde: F_R - razící síla [N],
 n_R - součinitel zvýšení přetvárného odporu v rozmezí = 2 ÷ 10 [-],
 S_{vyl} - plocha výlisku [mm²].

$$\text{b) } F_R = p \cdot S_{vyl} \quad [\text{N}], \quad (2.18)$$

kde: p - tvářecí tlak pro ražení [MPa].

- Lemování – u stanovení velikosti síly pro vytvoření požadovaného lemu tvoří důležité činitele tloušťka lemovaného materiálu, vnější průměr lemu a poměr velikosti otvoru:

$$F_L = 0,7 \cdot t \cdot D_{1L} \cdot \delta \cdot R_m \quad [\text{N}], \quad (2.19)$$

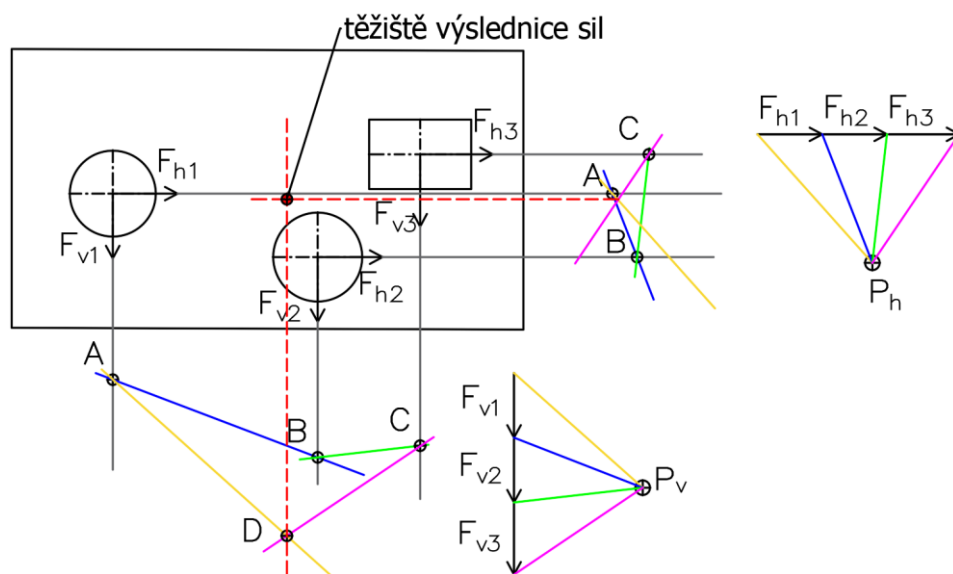
kde: F_L - lemovací síla [mm],
 D_{1L} - vnější průměr lemu (totožný s průměrem lisovnice) [mm],
 δ - poměr velikosti otvoru,

$$\delta = \frac{D_{1L} - d_L}{D_{1L}} \quad [-]. \quad (2.20)$$

2.4.1 Těžiště sil [18], [19]

Těžiště sil je nutné určit v případě, kdy při výrobě působí v nástroji více než jedna tvářecí síla (více operací). Při tváření materiálu musí výslednice působících sil působit v ose lisu a v tomto místě musí být umístěna stopka nástroje. V případě, že síla působí mimo osu, dochází k zatížení beranu klopným momentem, což vede ke snížení přesnosti vyráběných dílů, opotřebení nástrojů a beranu lisu. Výsledné působíště lze zjistit buď graficky, nebo výpočtem. V případě, kdy tloušťka a mechanické vlastnosti jsou u výstřižku stejné, je velikost střížných sil přímo úměrná obvodům děrovaných tvarů. Určení těžiště výslednice sil se provádí následovně:

- Grafické řešení – na obrázku 36 je zobrazen půdorys nástroje se třemi střížníky a postup řešení. V každém střížníku se nakreslí v těžišti velikost střížných sil ve vertikálním směru (F_{v1} , F_{v2} , F_{v3}). Zvolí se bod P_v , vedle něj se na přímku nanese velikosti těchto sil. Počáteční a koncové body sil na přímce se spojí s bodem P_v a vznikne tzv. pólový obrazec. Pod obrázkem nástroje se prodlouží přímkou velikosti vertikálních sil (F_{v1} , F_{v2} , F_{v3}). Na přímce F_{v1} se zvolí bod A a tím je dále vedena rovnoběžka s čarou v pólovém obrazci až k průtnutí prodloužené přímky F_{v2} a vznikne bod B. To samé se provede i pro bod C. Bodem A je vedena další rovnoběžka s počáteční přímkou v pólovém obrazci a bodem C je vedena další rovnoběžka s koncovým bodem v obrazci. Jejich průsečíkem vzniká bod D, který určuje vertikální polohu výslednice sil. Tento postup se zopakuje pro horizontální síly střížníku a výsledkem je přesná poloha těžiště sil.



Obr. 36 Těžiště výslednice sil graficky [19]

- Početní řešení – vychází z podmínky rovnovážného stavu, že součet všech momentů působících sil je ke zvolené přímce roven nule. Postup výpočtu (obr. 37) je následující:

$$F_x \cdot X = F_1^x \cdot a^x + F_2^x \cdot b^x + F_3^x \cdot c^x \quad [-], \quad (2.21)$$

$$F_y \cdot Y = F_1^y \cdot a^y + F_2^y \cdot b^y + F_3^y \cdot c^y \quad [-], \quad (2.22)$$

$$F_x = F_1^x + F_2^x + F_3^x \quad [N], \quad (2.23)$$

$$F_y = F_1^y + F_2^y + F_3^y \quad [N], \quad (2.24)$$

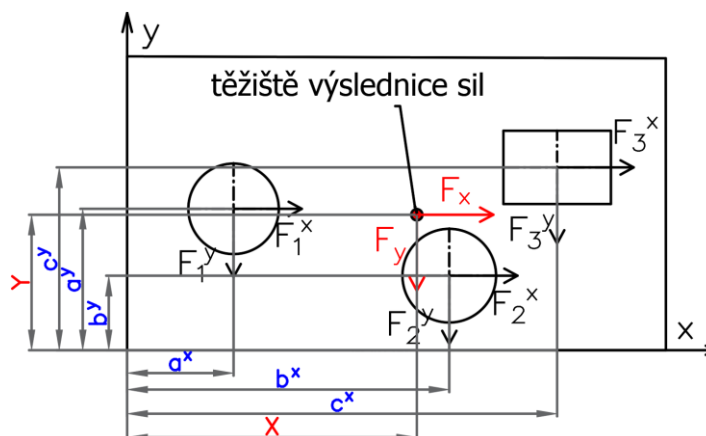
kde: F_x , F_1^x , F_2^x , F_3^x , F_y , F_1^y , F_2^y , F_3^y - velikosti sil znázorněné na obr. 37 [N],

X , a^x , b^x , c^x , Y , a^y , b^y , c^y - vzdálenosti sil od os x a y na obr. 37 [mm].

Z výše uvedených vzorců plyne, že:

$$X = \frac{F_1^x \cdot a^x + F_2^x \cdot b^x + F_3^x \cdot c^x}{F_1^x + F_2^x + F_3^x} \quad [\text{mm}] \quad (2.25)$$

$$Y = \frac{F_1^y \cdot a^y + F_2^y \cdot b^y + F_3^y \cdot c^y}{F_1^y + F_2^y + F_3^y} \quad [\text{mm}] \quad (2.26)$$



Obr. 37 Těžiště výslednice sil pro početní řešení [19]

2.5 Nástroje [2], [3], [17], [18], [19], [23], [27], [28]

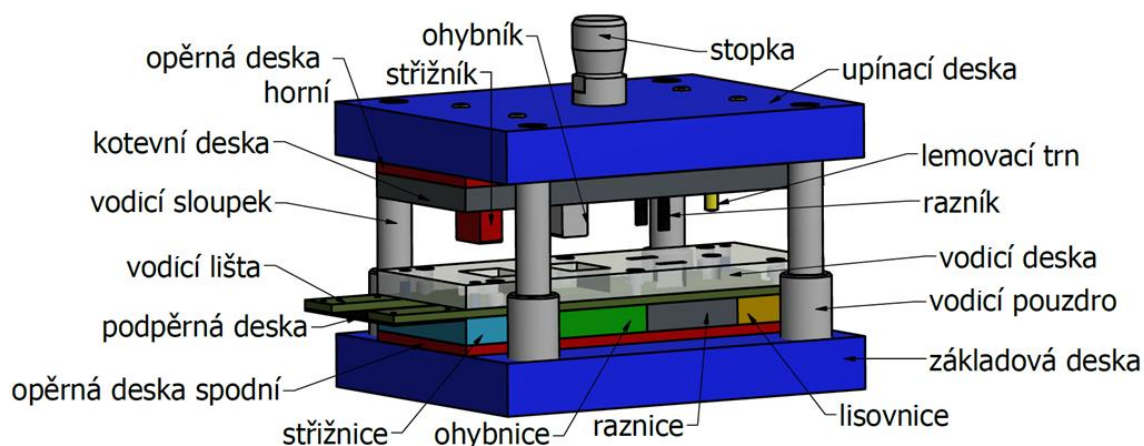
Nástroj je tvořen jedním nebo sestavou dílů sloužících k přetvoření a úpravě polotovaru na požadovaný tvar a rozměr. Lze ho rozdělit podle následujících kritérií:

- podle druhu a počtu operací – jednoduché (jednooperační), postupové (více operací za sebou), sloučené (více operací na jeden zdvih), sdružené (různé technologie v jednom nástroji),
- podle způsobu manipulace s polotovarem – s volným ručním vkládáním, mechanickým vkládáním, částečně nebo plně automatizované,
- podle použitých pomocných zařízení – s přidržovačem, vyhazovačem, vedením.

Při jejich konstrukci je potřeba dodržet zásady:

- ekonomické – maximální využití materiálu, výkonu stroje při minimálních nákladech,
- bezpečnostní, etické a ekologické – pracovní podmínky, prostředí na pracovišti, dodržení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (ochrana na nástrojích),
- technické – vyrobiteľnosť nástroje, vymeniteľnosť a smontovateľnosť dílů, jejich životnost, cena nástroje aj.

Vzhledem ke zvoleným technologiím výroby a velikosti série se bude jednat o postupový sdružený nástroj (obr. 38), ve kterém bude prováděno stříhání, ohýbání, ražení a lemování. Každá technologie s sebou přináší své zásady při konstrukci nástroje, tím jsou myšleny rozměrové přesnosti dílů, vlastnosti použitých materiálů, různé upínání a umísťování jednotlivých dílů v nástroji aj.



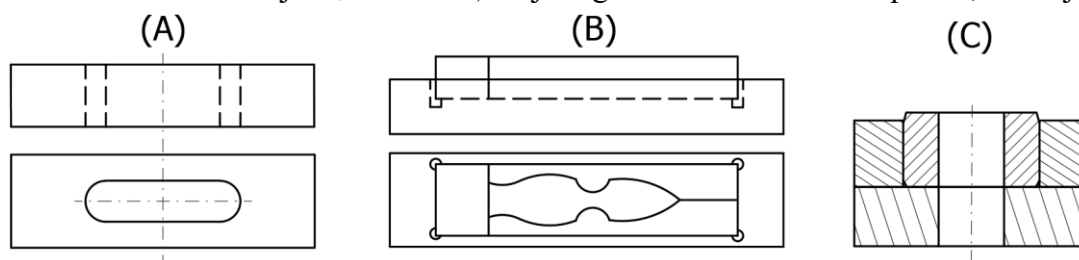
Obr. 38 Postupový sdružený nástroj [17], [27]

Nástroj na obrázku 38 lze rozdělit na horní a spodní část. Horní je složena ze stopky, upínací, opěrné a kotevní desky a pohyblivých funkčních částí nástroje (střížník, ohybník, razník a lemovací trn – lisovník). Pro zpřesnění výroby se v nástroji užívá vedení (vodící sloupky a pouzdra). Stopka slouží k upnutí nástroje do beranu lisu a je přichycena k upínací desce, ke které jsou přišroubovány zbylé díly horní podestavy. Kotevní deska ukotvuje pohyblivé funkční části nástroje a opěrná snižuje jejich opotřebení.

Spodní část je složena ze základové, vodící a podpěrné desky, vodící lišty a pevných funkčních částí nástroje (střížnice, ohybnice, raznice a lisovnice). Základová deska je při výrobě upevněna na stůl lisu a k ní jsou přišroubovány pevné funkční díly nástroje, na nich leží vodící lišty, které zamezují vychylování plechu při jeho posunu v nástroji. Dále je zde vodící deska, jejíž funkcí je přesné vedení pohyblivých dílů při jejich sjíždění do spodní části nástroje. Stejně jako v horní části, tak i na základové desce bývá opěrná deska. Dalšími díly mohou být dorazy, hledáčky, stěrače aj.

Jelikož mají hlavní funkční díly u každé zvolené technologie různé zásady při konstrukci, je nutné je popsat samostatně:

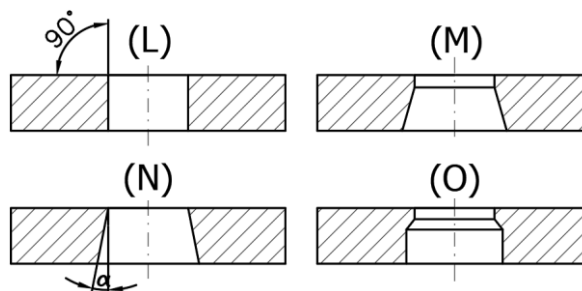
- Stříhání – hlavní součásti tvoří pevná střížnice a pohyblivý střížník. Střížnice (obr. 39) jsou děleny na celistvé (jeden kus, jednoduché tvary výstřížků, obr 39 A), skládané (několik částí, pro složité tvary výstřížků, obr 39 B) a vložkované (deska z konstrukční oceli a vložka z nástrojové, obr 39 C). Jejich geometrie má několik podob, které jsou



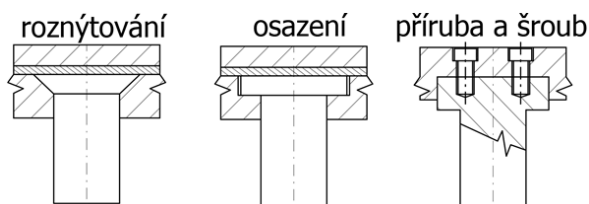
Obr. 39 Rozdělení střížnic [17], [27]

rozděleny podle způsobu použití při výrobě. Geometrie typu 'L' dle obrázku 40 se užívá s vyhazovačem a pro rozměrné výrobky, typ 'M' pro vysoký počet kusů, 'N' pro střední sérii a přesnost a 'O' pro děrování. Střížníky lze dělit podle tvaru průřezu na kruhové, čtvercové, obdélníkové a tvarové.

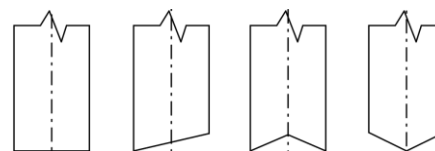
Jejich upnutí do nástroje může být provedeno několika způsoby (obr. 41) a to například roznýtováním, osazením, pomocí klinů, šroubů aj. Malé střížníky bývají z jednoho kusu, ale v případě velkých rozměrů je nosná část vyrobena z běžné konstrukční oceli a funkční z nástrojové. Příklady geometrií střížníků jsou zobrazeny na obrázku 42.



Obr. 40 Geometrie střížnic [17]



Obr. 41 Upnutí střížníků [17]



Obr. 42 Geometrie střížníků [17]

Při stanovení rozměrů hlavních funkčních částí (obr. 38) je nutné zohlednit a vypočítat jejich toleranci podle toho, zda se jedná o děrování plechu, nebo jeho vystřihování:

a) Děrování (obr. 43 A)

$$A_{ed} = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} \quad [\text{mm}], \quad (2.27)$$

kde: A_{ed} - rozměr střížnice u děrování [mm],

A_j - jmenovitý rozměr výstřižku (otvoru) [mm],

Δ - tolerance součásti (otvoru) [mm],

δ_e - výrobní tolerance střížnice [mm].

$$A_{kd} = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} \quad [\text{mm}], \quad (2.28)$$

kde: A_{kd} - rozměr střížníku u děrování [mm],

δ_k - výrobní tolerance střížníku [mm].

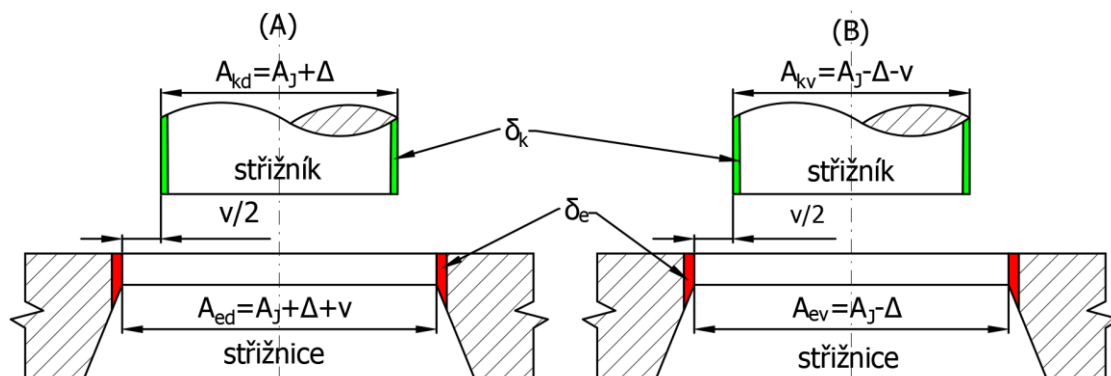
b) Vystřihování (obr. 43 B)

$$A_{ev} = (A_j - \Delta)^{+\delta_e} \quad [\text{mm}], \quad (2.29)$$

kde: A_{ev} - rozměr střížnice u vystřihování [mm].

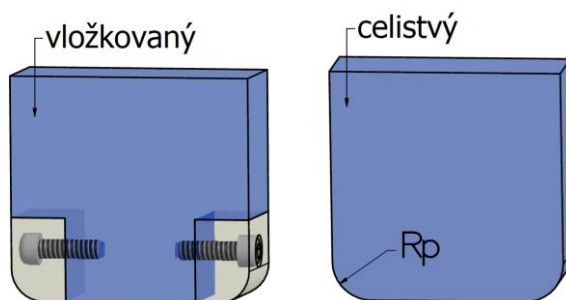
$$A_{kv} = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k} \quad [\text{mm}], \quad (2.30)$$

kde: A_{kv} - rozměr střížníku u vystřihování [mm].

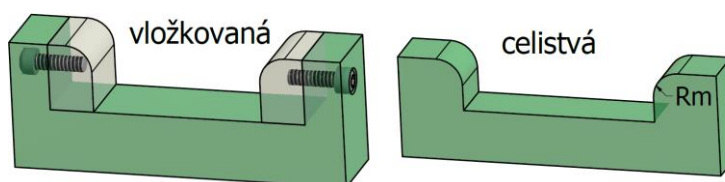


Obr. 43 Tolerance střížných nástrojů [17], [19]

- Ohýbání – hlavní funkční části nástroje jsou nazývány ohybníky a ohybnice. Pohyblivý ohýbací komponent (ohybník) má dvě základní provedení a to celistvý nebo vložkovaný (obr. 44). Jeho šířka je minimálně stejně velká, jako šířka ohýbaného dílu. Poloměr zaoblení ' r_p ' má totožnou velikost s poloměrem ohybu plechu (může být upraven vzhledem k odpružení). Hrany ohybníku je vhodné leštit a kalit, aby nedocházelo k jejich častému opotřebení. Při snaze o úsporu legovaných ocelí použitých na výrobu nástroje se často používají vložky ze slinutých karbidů nebo zušlechtěné oceli. Pevná ohýbací součást (ohybnice, obr. 45) může být také vložkovaná, nebo celistvá. U vložkovaných je objímka vyrobená z konstrukční oceli a vložka z nástrojové. Její poloměr zaoblení ' r_m ' ovlivňuje kvalitu ohybu a potřebnou ohýbací sílu. Volí se v rozmezí 2 až 6 násobek tloušťky plechu. Zaoblení a hloubka se stanovují dle



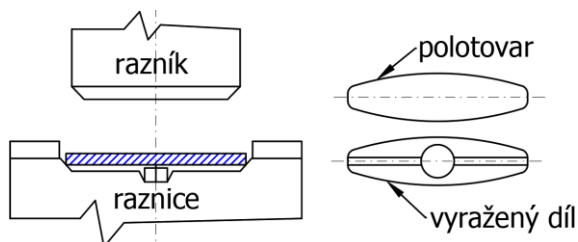
Obr. 44 Celistvý a vložkovaný ohybník



Obr. 45 Celistvá a vložkovaná ohybnice

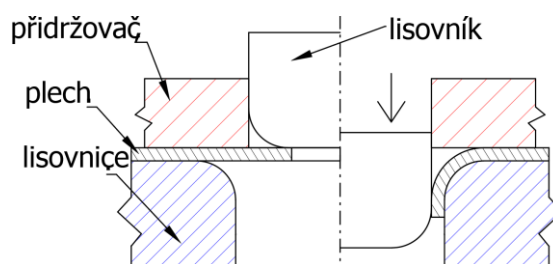
délky ramene a tloušťky materiálu. Když je $t \geq 3$ mm doporučuje se srazit hrany ohybnice pod úhlem 45° a ostré přechody zaoblit (výška sražení se rovná poloměru zaoblení hrany). Patří mezi nejdražší funkční díl nástroje.

- Ražení – zde tvoří hlavní funkční části pohyblivý razník a pevná raznice. Konstrukce dílů je dána tím, zda je určena pro ražení mělkých dílů ze slabého plechu, nebo reliéfu na povrchu plechu. Hlavní dosedací plochy musejí mít tvrdé a dostatečně houževnaté. Schéma razníku a raznice je na obrázku 46.



Obr. 46 Schéma razníku a raznice [27]

- Lemování (obr. 47) – touto technologií vzniká ohnutý okraj otvoru polotovaru a to díky pevné matici (lisovnici) a pohyblivému lisovníku (lemovacímu trnu). Zaoblení matrice je stejné, jako vnější poloměr vzniklého lemu a zároveň její průměr odpovídá vnějšímu průměru lemu. V případě lisovnicku je jeho průměr stejný s vnitřním \emptyset .



Obr. 47 Schéma lemování [18]

U všech hlavních funkčních částí nástroje je nedílnou součástí při jejich konstrukci kontrola na:

- otláčení:

$$\sigma_{\text{dov}} = \frac{F}{S_d} \quad [\text{MPa}], \quad (2.31)$$

kde: σ_{dov} - dovolené napětí [MPa], (pro ocel max. 180 MPa),
 F - síla [N],
 S_d - dosedací plocha [m²].

- vzpěr:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F}} \quad [\text{mm}], \quad (2.32)$$

kde: l_{krit} - kritická délka [mm],
 E - modul pružnosti v tahu [MPa],
 I - moment setrvačnosti průřezu [mm⁴],
 k_b - koeficient bezpečnosti [-].

Všechny díly nástroje je potřeba vyrobit z materiálů, které jsou voleny především na základě jejich vlastností a funkcí daného dílu. V tabulce 5 jsou uvedeny části nástroje s používanými materiály a tepelným zpracováním.

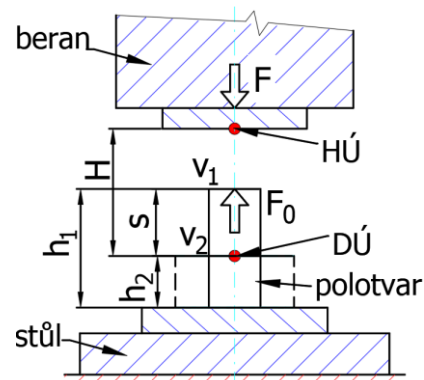
Tab. 5 Materiály částí nástrojů [17], [27]

Část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
vodicí stojánky	42 2456, 11 500, 12 061	cementace 60 - 62 HRC
vodicí, kotevní, upínací desky	11 500, 11 523, 12 050	-
stopka	11 600	-
dorazy	12 061, 19 312, 19 436	kalit, popouštět cca 56 HRC
vodicí lišty	11 600, 14 220	cementace 60 - 62 HRC
střižník, střižnice	19 191, 19 312, 19 436	kalit, popouštět 60 - 63 HRC
ohybník, ohybnice	19 312, 19 436, 19 573	kalit, popouštět 55 - 60 HRC
lisovník, matrice	19 191, 19 436, 19 436	kalit, popouštět 58 - 63 HRC
razník, raznice	19 191, 19 312, 19 436	kalit, popouštět 58 - 60 HRC

2.6 Stroje [29], [30], [31], [32]

Tvářecí stroje jsou pohybující se soustavy, které slouží k vykonávání úkonů technologického procesu. Jejich cílem je trvalé přetvoření daného dílu, který je vložen do nástroje uchyceného ve stroji. Lze je dělit na základě různých parametrů. Tím nejzákladnějším je podle druhu pohybu nástroje vzhledem k tvářenému polotovaru a to na stroje s přímočarým a rotačním pohybem nástroje.

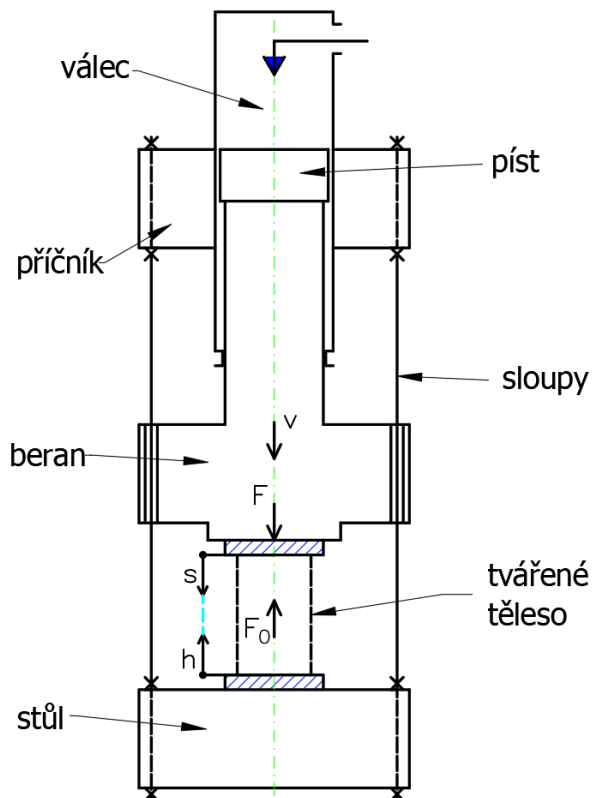
Nejrozšířenější jsou stroje s přímočarým pohybem. Jejich uspořádání je zobrazeno na obrázku 48. Pomocí síly ' F ' dochází k přímočarému vratnému pohybu beranu mezi horní a dolní úvratí (HÚ a DÚ). Materiál, který je vložen do nástroje, je jeho pohybem přetvářen. V počáteční poloze je beran s nástrojem v klidu. V okamžiku dotyku s polotovarem má určitou rychlost ' v ', překonává sílu ' F_0 ' svou silou ' F ' a vzniká plastická (trvalá) deformace tvářeného materiálu. Proces končí v dolní úvrati při nulové rychlosti. Z obrázku je také patrné, že horní část nástroje je připevněna k beranu a dolní na stůl stroje. Další rozdělení je dle konstrukčního provedení a to na stroje horizontální a vertikální.



Obr. 48 Princip stroje [29]

Dalším důležitým dělicím parametrem je forma využití energie. V tomto případě existují tři skupiny strojů a to silové, zdvihové a energetické. U silových je hlavním zástupcem hydraulický lis (obr. 49). Tyto stroje využívají převážně potenciální energii. Síla ' F ' je konstantní, omezuje dráhu ' s ', při které je materiál tvářen, ale není závislá na dráze beranu lisu ' h '. Oproti tomu stroje zdvihové využívají obě formy energie a to potenciální i kinetickou. Příkladem jsou klikové lisy, u nichž je síla ' F ' a rychlost funkcí dráhy beranu ' h '.

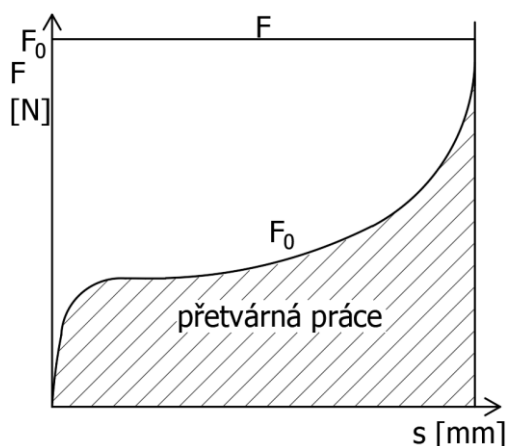
- Hydraulické lisy – jejich princip činnosti je založen na rovnoměrném rozložení tlaku v kapalině. Na základě uložení hydromotoru jsou děleny na svislé, vodorovné a kombinované. Dalším rozdělením je podle konstrukce – na stroje stojanové, rámové, sloupové a skříňové, nebo dle pohonu. Mezi jejich hlavní výhody patří malá tvářecí rychlost (nenastává intenzivní zpevnění, vhodné pro hluboké tažení), lis nelze přetížit (není potřeba pojistek), tvářecí sílu lze průběžně měřit a je závislá na přetvárném odporu materiálu, plynulá regulace rychlosti a možnosti snadné automatizace a mechanizace. Jejich hlavními nevýhodami jsou především: menší výkon (menší produktivita), nutnost přesného stanovení tvářecí síly (v případě špatného stanovení by nebyla dostatečná na potřebnou operaci), nemají pevnou dolní úvrť, tudíž musí být výška regulována dorazem. Graf závislosti síly lisu na dráze je zobrazen na obrázku 50. Oproti lisům mechanickým mají hydraulické možnost libovolně nastavovat velikost pracovního zdvihu z celkového zdvihu beranu,



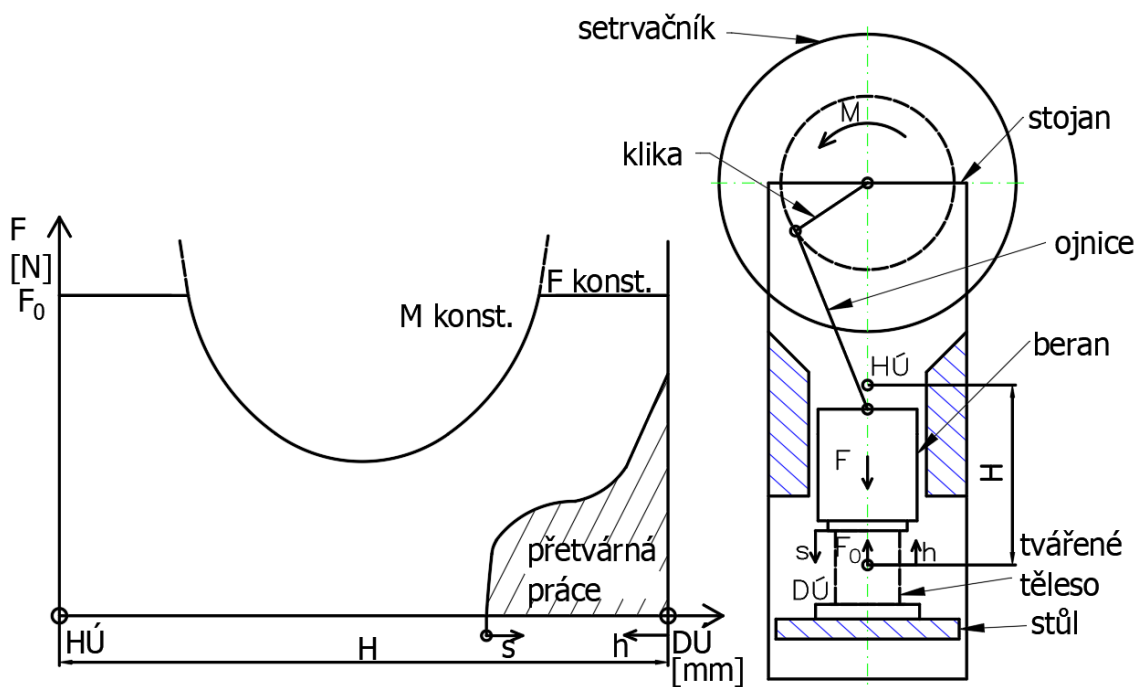
Obr. 49 Schéma hydraulického lisu [30]

odebírat maximální sílu v libovolné výšce a mít konstantní tlak a rychlost beranu. Na druhou stranu mají oproti mechanickým horší účinnost, pomalejší chod, složitější konstrukci pohonu a horší údržbu.

- Mechanické lisy – přenášejí energii pomocí mechanických převodových systémů. Patří mezi nejpoužívanější tvářecí stroje. Hlavní pohon tvoří klikový mechanismus, ostatní jsou od něj odvozené nebo kombinované. Základní rozdělení je dle převodového mechanismu na lisy výstředníkové, kolenové, klikové, šroubové, hřebenové. Dále sem patří také lisy děrovací, vysekávací, tažné či ohraňovací. Podle polohy beranu mohou být vodorovné, nebo svislé. Mají různé varianty velikostí zdvihů, sil nebo tvaru stojanu. Hlavními výhodami jsou vysoká výrobnost (rychlejší chod beranu), jednoduchost pohonu a snadnější údržba. Mezi nevýhody patří nebezpečí přetížení stroje (nutnost používat pojistky), obtížné tváření po delší dráze s velkou silou a maximální sílu lze odebrat až před dolní úvratí stroje. Obrázek 51 popisuje průběh tvářecí síly, která musí být vždy pod průběhem síly lisu a dále je zde schematicky znázorněn výstředníkový lis. Ten je převážně používán pro tváření plechu a to pro ohýbání, stříhání, ražení.



Obr. 50 Graf přetvárné práce u hydraulického lisu [30]



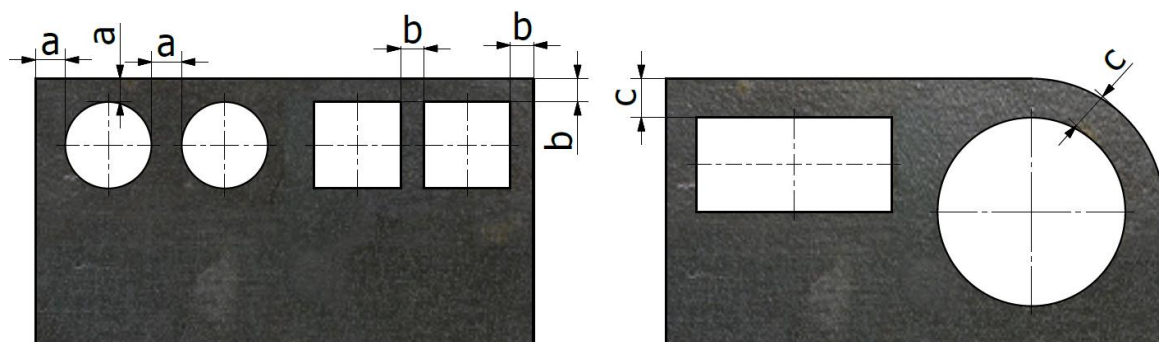
Obr. 51 Graf a schéma výstředníkového lisu [30]

2.7 Technologičnost [16], [18], [19], [24], [33], [34]

Technologičnost je pojem obsahující širokou škálu požadavků, které musí splnit konstrukce výrobku, aby byla zajištěna jeho správná funkčnost, životnost a dosažena maximální hospodárnost výroby. Jelikož jsou zde dvě hlavní technologie výroby (stříhání, ohýbání), každá z nich má své vlastní zásady.

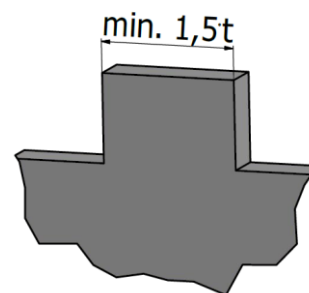
Pro technologii stříhání jsou předepsány tyto:

- volit materiál pro běžné stříhání do pevnosti 1 000 - 1 200 MPa,
- přesnost výstřižku pro běžné stříhání na jednoduchých stříhadlech IT12 ÷ IT14, pro stříhání ve stříhadlech s vedením IT9 ÷ IT11, nezužovat velikosti tolerance bezdůvodně, protože každý další požadavek na toleranci zvyšuje výrobní náklady,
- pokud není potřeba, tak nepředepisovat drsnost povrchu stříhaných ploch menší, než má běžná odstřižená plocha ($R_a = 3,2 \div 6,3 \mu\text{m}$) a nezavádět kolmost k ploše polotovaru,
- minimální velikost otvoru je v měkké oceli $\varnothing 1 \text{ mm}$ a ve tvrdé oceli $\varnothing 1,5 \text{ mm}$ (velikost závisí také na tloušťce materiálu), je vhodné upřednostňovat otvory kruhového průřezu, vzdálenost stříhaných otvorů u polotvrdé oceli platí dle obrázku 52 ($a \geq 0,8 \cdot t$, $b \geq 1 \cdot t$, $c \geq 1,5 \cdot t$), v případě, kdy se jedná o měkkou ocel, navýší se rozměry o 20 ÷ 25 % při tloušťce $t \leq 1,5 \text{ mm}$ a o 10 ÷ 15 % u oceli větší tloušťky,

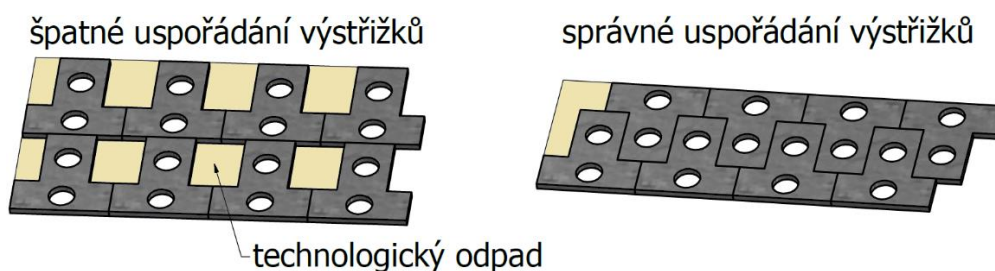


Obr. 52 Vzdálenosti stříhaných otvorů [18], [33]

- šířka vyčnívajících úseků a úzkých výstřižků musí být minimálně 1,5 násobek tloušťky materiálu (obr. 53),
- rohy výstřižku pokud možno srazit nebo zaoblit (nestřídat příliš rozměry ostrých a zaoblených rohů),
- nejsou vhodné plynulé přechody oblouků do přímek (zdražují nástroj),
- kruhové tvary při vystřihování snižují využití materiálu,
- neúsporné jsou rozvětvené tvary výstřižků (vhodnější spojitý tvar),
- uspořádání výstřižků na plechu by mělo být s největším využitím materiálu (s nejmenším procentem odpadu, obr. 54).



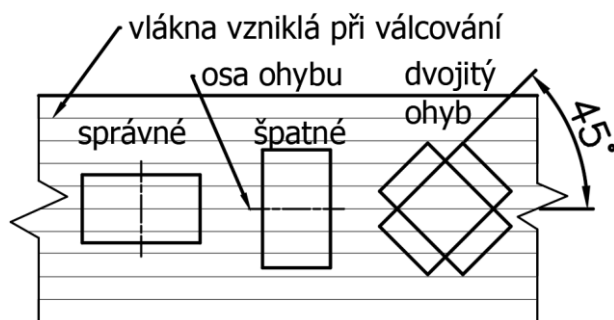
Obr. 53 Šířka vyčnívajících úseků [18]



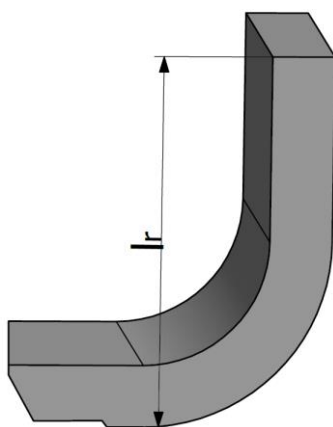
Obr. 54 Schéma uspořádání výstřižků [33], [19]

Při ohýbání je technologičnost závislá především na vlastnostech materiálu plechu, jeho tvaru a rozměru. Aby byla dodržena požadovaná kvalita dílu, je nutné splnit:

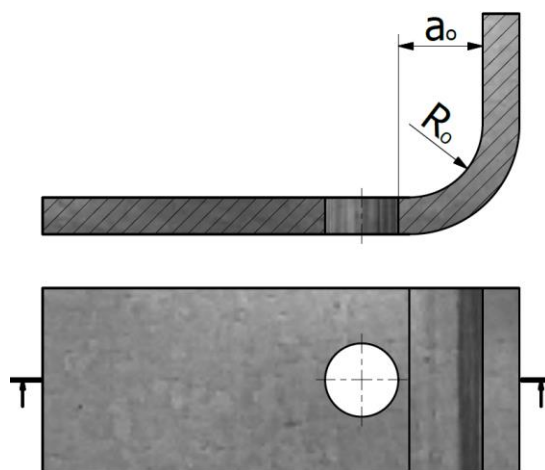
- osu ohybu směřovat při ohýbání kolmo vzhledem ke směru vláken, která vznikla během válcování (aby nevznikla trhlina, obr. 55),
- upřednostnit ohyb s kalibrací,
- volit malý poloměr ohybu, tím se zmenší odpružení (musí být dodržena podmínka minimálního poloměru), nebo volit velký poloměr a tím se zamezí vznik trhlin a ztenčení plechu (podmínka max. poloměru),
- upravovat funkční části nástroje, aby se zamezil posuv polotovaru při ohybu (nebo použít přidržovače),
- podmínka dodržet minimální délku ohýbaného ramene l_r dle obrázku 56 ($R_o < 1 \text{ mm} \rightarrow l_r \geq 3 \cdot t + R_o$), ($R_o > 1 \text{ mm} \rightarrow l_r \geq (2,5 \div 3) \cdot t$),
- jestliže jsou v místě ohybu přesné otvory, je potřeba je vystříhnout až po ohýbání,
- dodržení minimální vzdálenost otvoru od místa ohybu, aby se nedeformoval (obrázek 57, $a_o \geq R_o + 2 \cdot t$),
- plechy s velkými poloměry ohybu bývají málo tuhé, proto je lepší je vyztužit pomocí žeber,
- osu ohybu směřovat kolmo k součásti, aby se díl neposouval (také kolmost čáry ohybu k okraji polotovaru v místě ohybu),
- všude, kde to vyráběný díl umožňuje, ponechat netolerované rozměry,
- neuzavírat díl vícenásobnými ohyby, může dojít ke komplikaci se zakládáním a vyndáváním výrobku,
- dodatečným ražením je možné docílit ostrého ohybu plechu,
- v místě ohybu se připouští přibližně 20% ztenčení materiálu.



Obr. 55 Směr vláken při ohybu [34]



Obr. 56 Minimální délka ramene [34]



Obr. 57 Minimální vzdálenost otvoru od ohybu [18], [34]

3 NÁVRH VÝROBY

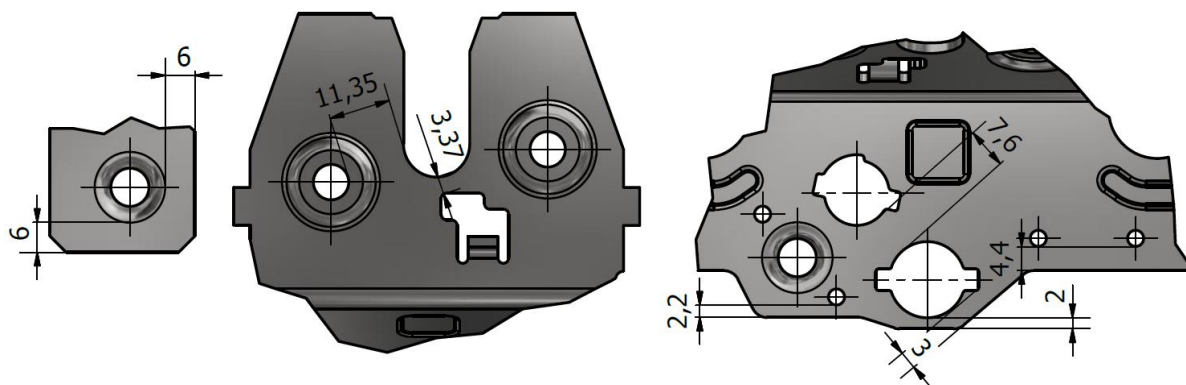
Vyráběným dílem je kryt zámku pátých dveří u osobních automobilů s tloušťkou stěny 2 mm. Výroba byla zvolena pomocí postupového sduženého nástroje, na kterém budou provedeny čtyři různé technologie a to stříhání, ohýbání, ražení a lemování. Výrobní série činní 1 200 000 kusů za 3 roky. Materiálem je konstrukční ocel S355MC. Model krytu je zobrazen na obrázku 58. Nepředepsané mezní úchytky všech rozměrů krytu jsou podle normy ČSN ISO 2768-mK.

Důležitým bodem je splnění zásad technologičnosti při stříhání a ohýbání. Z hlediska stříhání bude přesnost výstřižků při použití nástroje s vedením v rozmezí IT9 ÷ IT11, což splňuje rozměrové požadavky dílu. Dále je nutné dodržet minimální velikost otvoru (min. 1,5 mm).

Nejmenší otvor průměru 3 mm splňuje minimální velikost. Také tvarový otvor ve žlutě označené části plechu má v určitém úseku velikost 2 mm a také vyhovuje. Tuto podmínku musí splnit i otvor, který bude předstřížen pro následné vytvoření lemu. Velikost se stanoví dle vztahu (2.10):

$$d_L = D_L - 2 \cdot (H_L - 0,43 \cdot R_L - 0,72 \cdot t) = 7 - 2 \cdot (4 - 0,43 \cdot 1 - 0,72 \cdot 2) = 2,74 \text{ mm}$$

Výsledek je zaokrouhlen na 2,7 mm a splňuje podmínku. Vystřihované otvory musí být alespoň v minimální vzdálenosti mezi sebou a od okraje dílu (kruhové otvory vzdálenost $\geq 1,6$ mm, čtvercové ≥ 2 mm a obdélníkové od kraje nebo kruhové od zaobleného kraje ≥ 3 mm). Na obrázku 59 jsou zobrazeny nejrizikovější vzdálenosti otvorů od okraje dílu a mezi sebou a lze vidět, že všechny podmínku splňují.



Obr. 59 Vzdálenosti otvorů krytu

Poslední podmínkou je dodržení minimální šířky vyčnívajícího úseku (min. 1,5·t), který se vyskytuje na třech místech krytu v oblasti vyznačené žlutou barvou (jedním je myšleno nejmenší ohnuté rameno zakresleno zeleně). Šířky částí mají velikost 7 a 5,5 mm a tudíž vyhovují.

U posouzení technologičnosti při ohýbání je první důležitou podmínkou minimální délka ohýbaného ramene. Pro poloměr ohybu > 1 mm platí, že min. délka $l_r \geq 6$ mm. Z obrázku 60 lze vidět, že všechna ramena podmínku splňují. Dalším bodem je dodržení minimální vzdálenosti otvoru od místa ohybu. Vzhledem k tomu, že každý poloměr ohybu má velikost 2 mm, je min. vzdálenost 4 mm a u všech otvorů dílu vyhovuje.

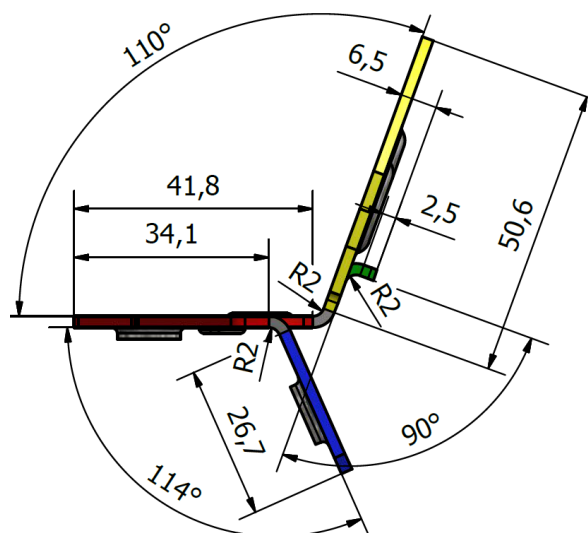
Poslední podmínka spočívá v dodržení poloměru ohybu:

- Pro minimální poloměr lze použít vzorec (2.8):

$$R_{\min} = c \cdot t = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ mm},$$

kde koeficientu 'c' zvolen 0,5.

Po vypočtení poloměrů ohybů je patrné, že všechny ohyby součásti vyhovují.



Obr. 60 Délky ramen ohybu krytu

3.1 Rozvinutý tvar součásti

Pro stanovení rozvinuté délky polotvaru je potřeba vycházet z neutrální osy. Její délka se při ohybu nemění, jen se může v určitých případech posunout k vnitřní straně ohybu. Při určení délky se kryt rozdělí na rovné a ohnuté úseky, jejichž délku je nutné počítat zvlášť. Nejprve se vypočte poloměr neutrální osy dle (2.3):

$$\rho = R_o + x \cdot t = 2 + 0,42 \cdot 2 = 2,84 \text{ mm},$$

kde: $x = 0,42$ (poměr $R_o/t = 2/2 = 1$, dle tab. 2).

Jelikož mají všechny poloměry ohybu stejnou velikost, je stejný i poloměr jejich neutrální osy, který se dle výpočtu posune k vnitřní straně ohybu. Dalším bodem je stanovení délky ohnutých úseků z obrázku 60 dle (2.4):

- ohyb ramene, označeno modře

$$l_1 = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma_1 \cdot (R_o + x \cdot t) = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 66^\circ \cdot (2 + 0,42 \cdot 2) = 3,27 \text{ mm},$$

zaokrouhleno na hodnotu 3,3 mm.

- ohyb ramene, označeno žlutě

$$l_2 = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma_2 \cdot (R_o + x \cdot t) = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 70^\circ \cdot (2 + 0,42 \cdot 2) = 3,47 \text{ mm},$$

zaokrouhleno na hodnotu 3,5 mm.

- ohyb ramene, označeno zeleně

$$l_3 = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma_3 \cdot (R_o + x \cdot t) = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 90^\circ \cdot (2 + 0,42 \cdot 2) = 4,46 \text{ mm},$$

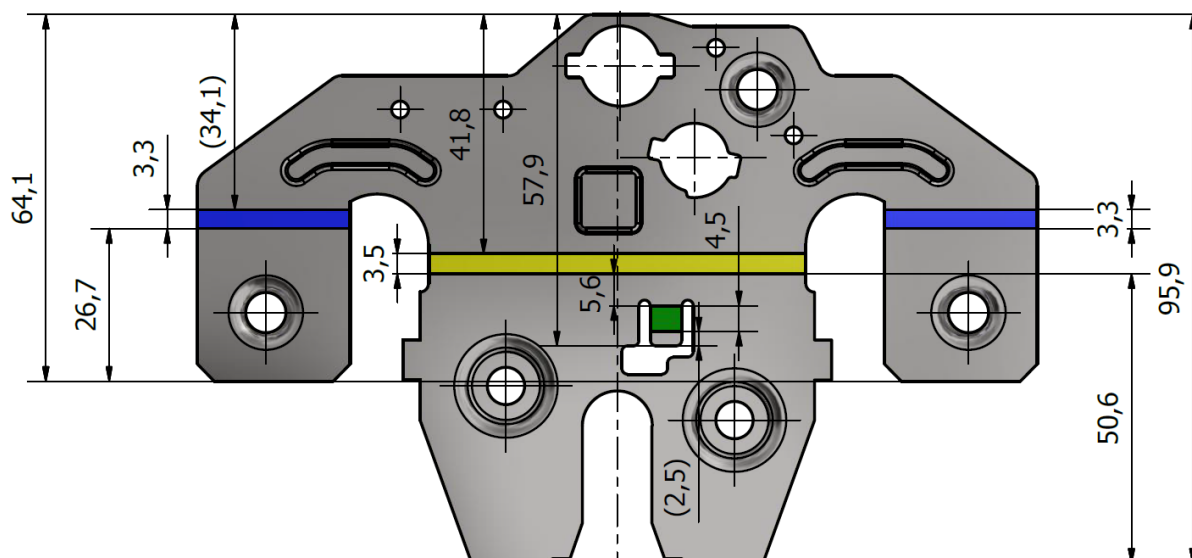
zaokrouhleno na hodnotu 4,5 mm.

Součet rovných a ohnutých úseků je proveden dle vztahu (2.5) a výsledky jsou zobrazeny na obrázku 61:

$$l_{p1} = l_1 + 26,7 + 34,1 = 3,3 + 26,7 + 34,1 = 64,1 \text{ mm}$$

$$l_{p2} = l_2 + 50,6 + 41,8 = 3,5 + 50,6 + 41,8 = 95,9 \text{ mm}$$

$$l_{p3} = l_3 + 41,8 + l_2 + 5,6 + 2,5 = 4,5 + 41,8 + 3,5 + 5,6 + 2,5 = 57,9 \text{ mm}$$



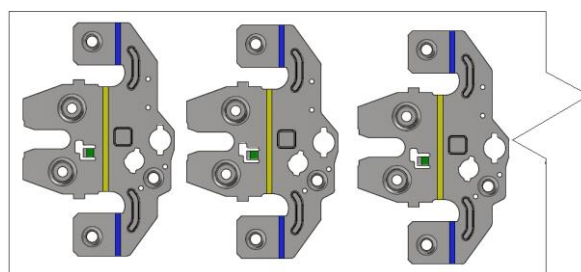
Obr. 61 Rozvinutý tvar polotovaru

3.2 Rozmístění výstřižků [18], [19]

Po stanovení rozvinuté délky výstřižku je dalším bodem vytvoření správného rozmístění na polotovaru a postup jeho výroby. Výrobek lze vyhotovit postupnými operacemi z tabule plechu, nebo plechového svitku.

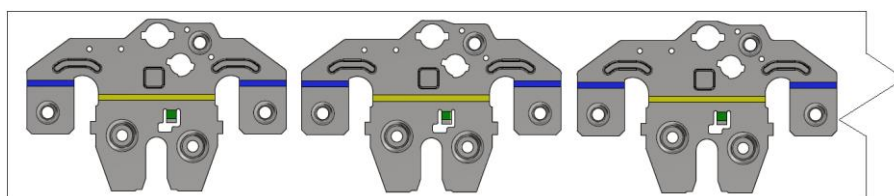
Při správném rozmístění se vychází především z jeho tvaru, rozměrů a velikosti výrobní série. Existuje několik možností jeho uložení. Vzhledem ke složitosti bude uvažováno pouze rozmístění s můstkem a postranním odpadem. Umístění výstřižku může mít několik skupin. V tomto případě lze uvažovat o jednořadém a dvouřadém rozmístění. Skupina jednořadých výstřižků má následující varianty:

- Příčné – u této varianty (obr. 62) jsou osy všech ohybů kolmé na směr posunu plechu a zároveň kolmo na směr vláken. Tato kolmost tvoří velkou výhodu varianty. Problém nastane při konstrukci nástroje, která by musela být velmi složitá vzhledem k umístění ohybů. Také posun polotovaru po vytvoření ohybů by byl velmi komplikovaný.



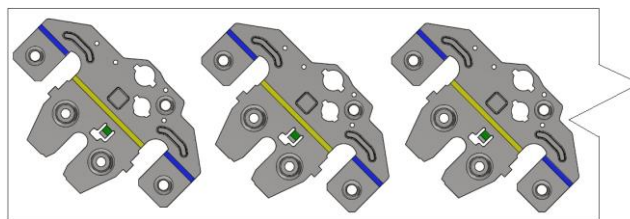
Obr. 62 Příčné umístění výstřižků

- Podélné – zde jsou osy ohybů rovnoběžné se směry vláken (obr. 63) a se směrem posunu plechu, což představuje nevýhodu. Posun polotovaru a nástroj by v tomto případě byly jednodušší, než u předešlé varianty. Ohyby se vyskytují pouze na dolní straně plechu, což může zhoršovat jeho stabilitu.



Obr. 63 Podélné umístění výstřižků

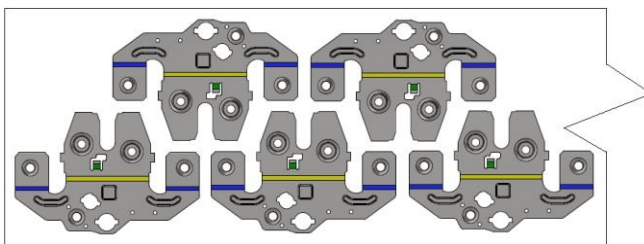
- Šikmé – při této možnosti (obr. 64) umístění jsou osy ohybů pod úhlem 45° vzhledem ke směru posunu. V tomto případě by konstrukce nástroje a posun plechu byly složité.



Obr. 64 Šikmé umístění výstřižků

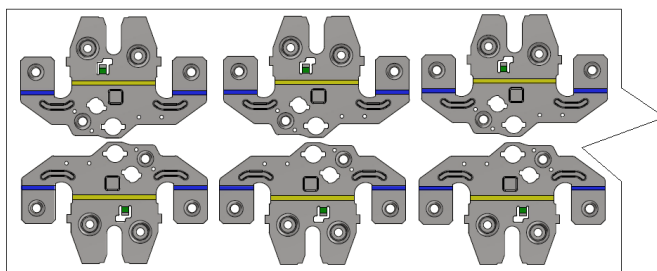
Druhou skupinu tvoří dvouřadé umístění. Lze uvažovat rozmístění:

- Vstřícné – u této varianty jsou díly rozmístěny vedle sebe (obr. 65), přičemž každý druhý díl je otočený o 180° . Vyrábět lze poté oba díly současně, nebo nejprve vyrobít jednu řadu, poté plech otočit a vyrobít řadu druhou. Oba způsoby výroby mají výhodu z hlediska malého zbytkového odpadu. Při současném vyrábění obou dílů jsou nižší výrobní časy, než při otáčení plechu. Nevýhodou této varianty je složitost konstrukce nástroje. Jednotlivé operace jsou vůči sobě symetricky umístěné pod úhlem, ale kdyby byly operace přímo naproti sobě, byl by plech stabilnější. Při vhodném postupu výroby lze tuto nevýhodu vyloučit.

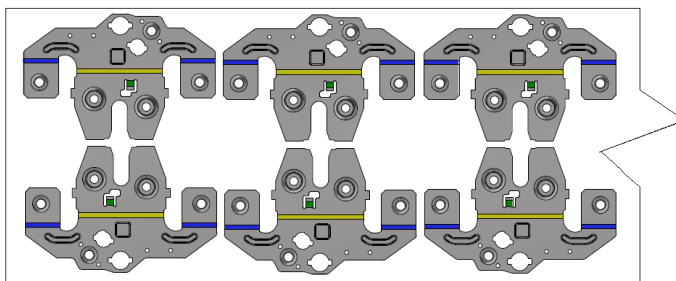


Obr. 65 Vstřícné umístění výstřižků

- Podélné s ohyby na okrajové části plechu – díly jsou rozmístěny ve dvou řadách naproti sobě (obr. 66). Výhodu tvoří symetrické rozložení funkčních částí nástroje (vyšší stabilita plechu). Nevýhodou je daleko větší zbytkový odpad, než u vstřícného umístění. Jelikož jsou ohyby na vnější straně, musel by se plech posouvat v nástroji po jeho prostředku. Zde se ale vyskytují lemované otvory, které tvoří překážku při posuvu.
- Podélné s ohyby ve středu plechu (obr. 67) – tato varianta má stejné výhody jako předchozí. Mezi další patří snadnější posuv plechu, který bude prováděn po jeho okrajích, kde je rovný a nejsou zde žádné překážky. Dále lze u této varianty zmenšit počet ohybníků a ohybnic. Díky tomu, že jsou ohyby symetricky naproti sobě, lze jedním ohybníkem ohnout oba díly zároveň. Nevýhodou tvoří vysoká spotřeba materiálu.



Obr. 66 Podélné dvouřadé umístění výstřižků s ohyby na kraji



Obr. 67 Podélné dvouřadé umístění výstřižků s ohyby ve středu

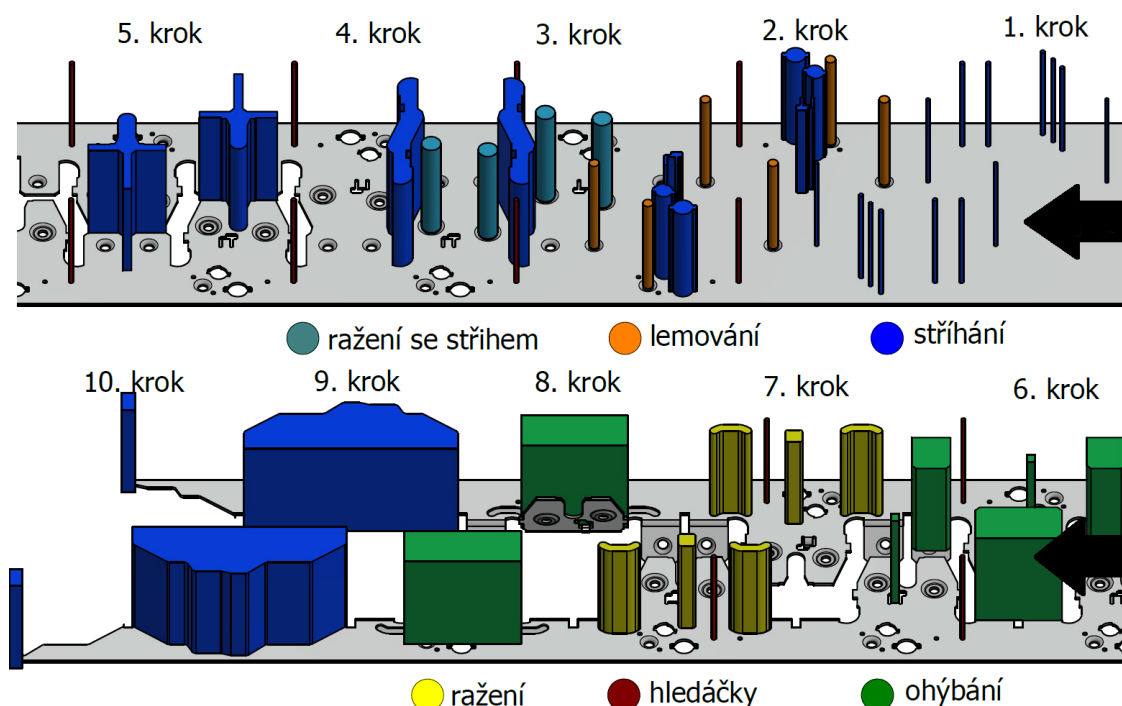
Vzhledem k uvažování výše uvedených výhod a nevýhod jednotlivých variant se jeví jako nejvhodnější možné rozmístění vstřícné. Tato varianta má sice složitější konstrukci, ale je nutné brát v potaz velikost výrobní série 1 200 000 kusů za tři roky, při níž je důležitá nízká spotřeba materiálu, která je u tohoto rozmístění nejnižší.

3.2.1 Výrobní postup

Poté, co bylo zvoleno nejvhodnější rozmístění výstřižků na plech, lze přikročit k dalšímu důležitému bodu a tím je stanovení vyhovujícího výrobního postupu. Ten, vzhledem ke složitosti vyráběné součásti, bude nutné rozdělit na řadu operací, které budou vést k dosažení požadovaného tvaru dílu. Na základě zvolené technologie výroby je v postupu řešeno stříhání, ohýbání, ražení a lemování. S přihlédnutím k velké výrobní sérii je snaha o dosažení co nejmenšího počtu výrobních kroků.

V níže uvedených bodech je uvažováno s více variantami postupu výroby. Postup je rozdělen na 10 až 11 kroků s délkou 153 mm. Každá varianta je uspořádána tak, že jednotlivé kroky mají šikmé uspořádání stejných operací. Jednotlivé varianty jsou následující:

- Varianta 1 (obr. 68)



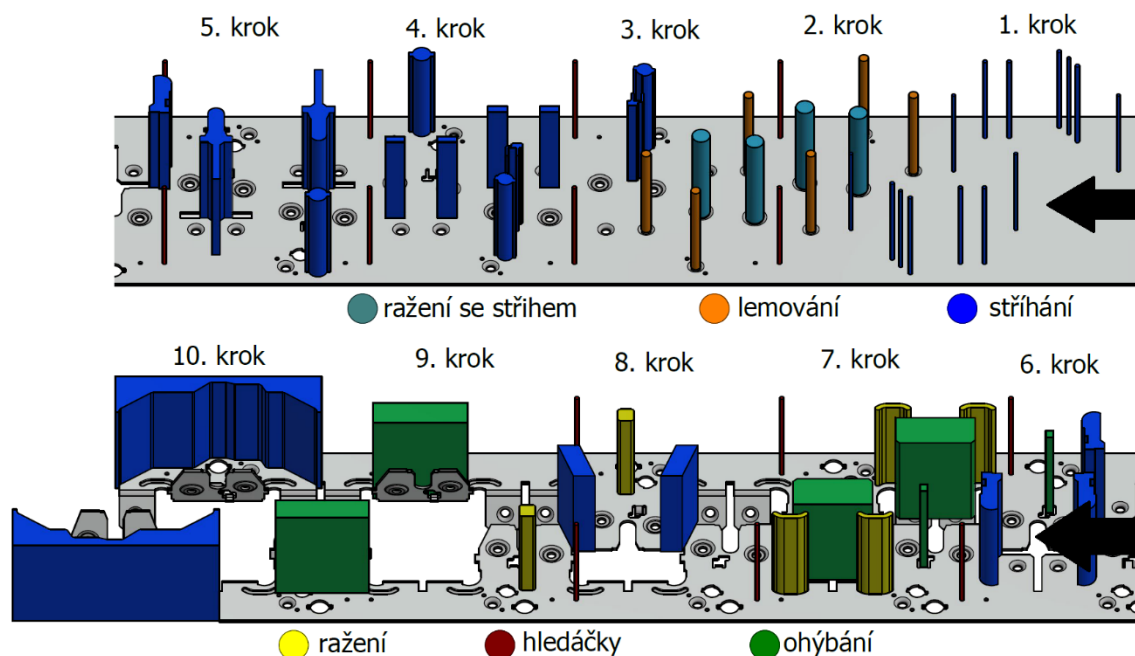
Obr. 68 První varianta výrobního postupu

- 1. krok – vystřížení všech vnitřních otvorů $\varnothing 3$ mm a předstřížení otvorů $\varnothing 2,7$ mm (díry pro následné lemování),
- 2. krok – vystřížení všech vnitřních tvarových otvorů, projetí dvou hledáček dírami $\varnothing 3$ mm (hledáčky totožné pro operace 3 až 7), lemování všech otvorů $\varnothing 2,7$ mm,
- 3. krok – ražení čtyř prolisů se současným vystřížením díry $\varnothing 6,6$ mm, vystřížení části obrysu obou dílů,
- 4 - 5. krok – stříh obrysů dílů,
- 6. krok – ohyb čtyř stejných ramen a dvou nejmenších ramen,
- 7. krok – ražení všech prolisů,
- 8. krok – ohyb středního největšího ramene u obou vstříčně umístěných dílů,
- 9. krok – vystřížení hotového dílu a jeho propad stolem lisu,
- 10. krok – odstřížení zbylého technologického odpadu.

U této varianty tvoří výhodu poměrně jednoduché přemístění hotového dílu, který bude po vystřížení propadat stolem lisu. Mezi nevýhody patří složitost střížníků mezi 3 až 5 krokem, dále těsné umístění ražení a stříhání ve třetí operaci. V osmé operaci je ohýbáno nejdelší rameno, což může vést k nutnosti vyššího zdvihu a tím k prodloužení výrobních časů. Od páté operace je plech spojen a veden pouze po okrajích. To zhoršuje stabilitu

a způsobuje nepřesné operace stříhání a ohýbání. Způsob vystřížení hotového dílu způsobí, že se na horní části obrysu vytvoří otřep. Ten je ale na opačné straně plechu, než u zbylých stran dílu. Z vizuálního hlediska a z důvodu bezpečnosti je při ruční manipulaci se sestaveným zámkem vhodnější, aby dotyková strana krytu zámku měla zaoblené hrany bez otřepů po celém obvodu.

- Varianta 2 (obr. 69)

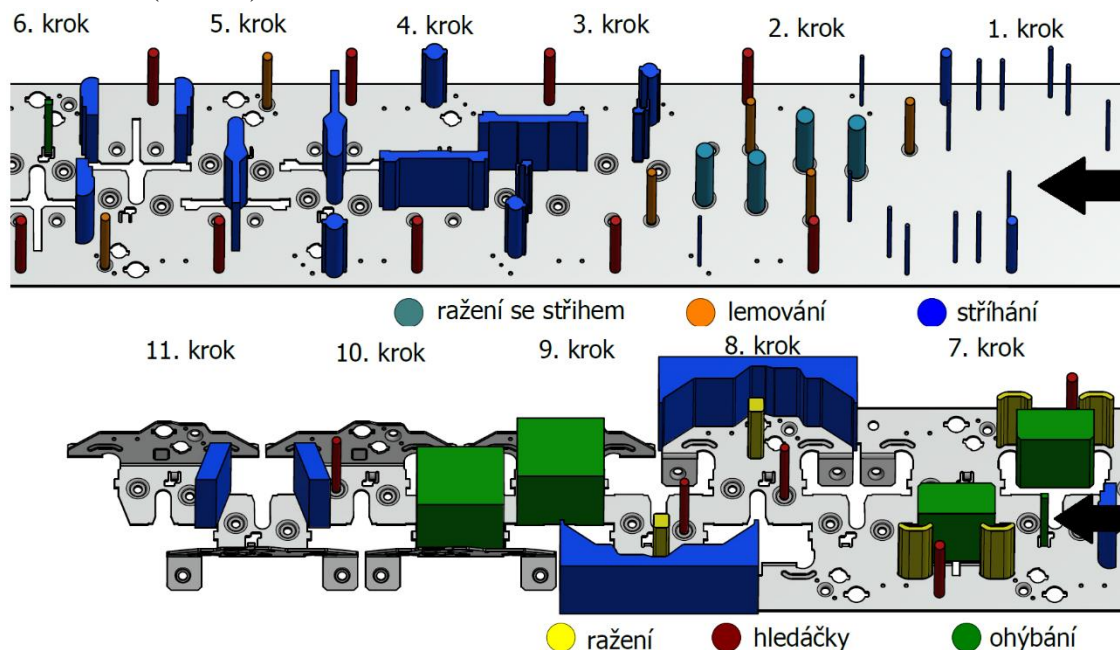


Obr. 69 Druhá varianta výrobního postupu

- 1. krok – vystřížení všech vnitřních otvorů $\varnothing 3$ mm a předstřížení otvorů $\varnothing 2,7$ mm (díry pro následné lemování),
- 2. krok – lemování všech otvorů $\varnothing 2,7$ mm, ražení čtyř prolisů s dírou $\varnothing 6,6$ mm, vystředění pomocí dvou hledáček $\varnothing 3$ mm (hledáčky totožné pro operace 3 až 8),
- 3 - 5. krok – stříh vnitřních tvarových otvorů obrysových částí dílů,
- 6 - 7. krok – vystřížení dalšího obrysu, ražení čtyř prolisů, ohyb dvou nejmenších ramen a čtyř stejných ramen,
- 8. krok – odstřížení středového napojení a ražení dvou prolisů,
- 9. krok – ohyb dvou nejdelších ramen,
- 10. krok – stříh zbylých obrysů obou dílů.

Zde je hlavní výhodou zaoblení všech horních hran plechu, což nebylo dodrženo u předešlé varianty a lepší rozložení jednotlivých střížných operací. Od osmé operace opět dochází k odstřížení středového napojení, což zhoršuje stabilitu plechu. Po desátém kroku je potřeba, aby se hotové díly dostaly dál do připravených boxů a to například sklouznutím, nebo propadem. Tento posun vzhledem k rozmístění výlisků a způsobu odstřížení může způsobit u této varianty potíže (odstřížené plechy se mohou vzájemně zaseknout).

- Varianta 3 (obr. 70)

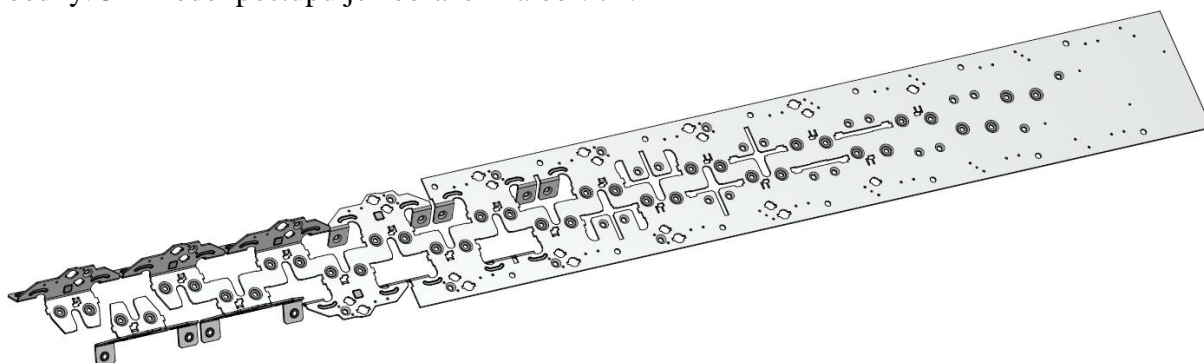


Obr. 70 Třetí varianta výrobního postupu

- 1. krok – vystřižení všech otvorů $\varnothing 3$, čtyř $\varnothing 2,7$ mm a dvou $\varnothing 8$ mm.
- 2. krok – lemování čtyř otvorů, ražení čtyř prolisů se stříhem otvoru $\varnothing 6,6$ mm, projeti dvou hledáček otvory průměru 8 mm (platí pro operace 2 – 7), stříh dvou otvorů $\varnothing 2,7$ mm,
- 3 - 5. krok – stříh vnitřních a obrysových tvarů, v pátém kroku lemování dvou otvorů,
- 6 - 7. krok – vystřižení části obrysu, ohyb nejmenších ramen a čtyř stejných ramen, ražení čtyř prolisů, zahledání hledáčku otvorem $\varnothing 6,6$ mm,
- 8. krok – odstřížení vnějších obrysů, vystředění dvěma hledáčky $\varnothing 6,6$ mm,
- 9. krok – ohyb hlavních částí obou dílů při zachování středového napojení ve vodorovné poloze,
- 10 - 11. krok – stříh středového napojení a vystředění hledáček skrz otvor $\varnothing 6,6$ mm.

Tento výrobní postup má vhodně umístěné jednotlivé operace. Oproti předchozím variantám je plech stabilnější, jelikož má až do poslední operace středové napojení. Další výhodou tvoří jednodušší tvary jednotlivých střížníků. Dále je zde také dodrženo zaoblení horních hran plechu.

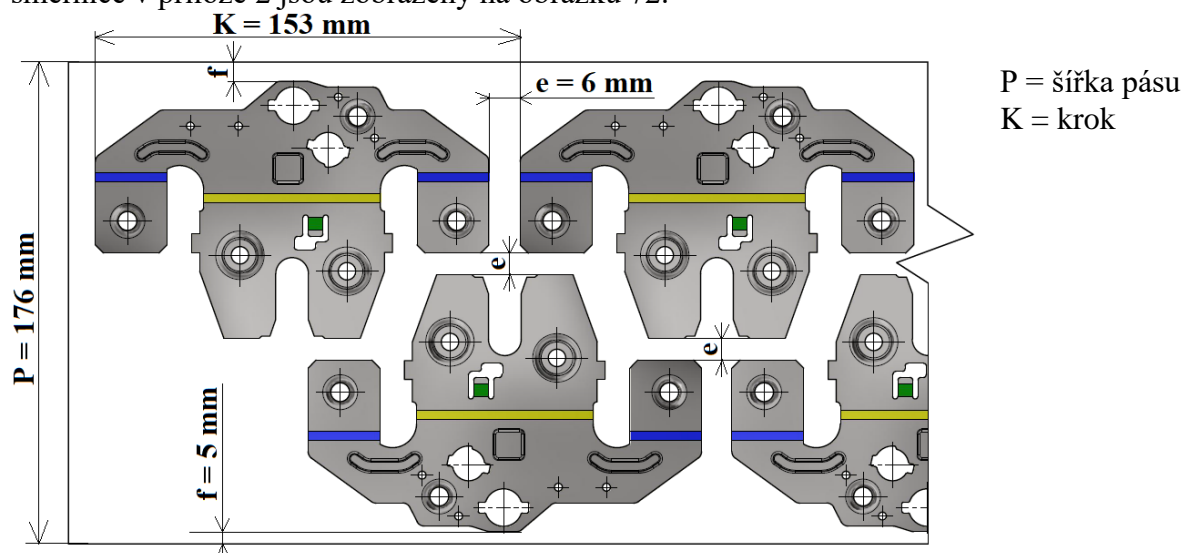
Na základě výše uvedených výhod a nevýhod jednotlivých variant výrobních postupů je nejvhodnější varianta 3. Výroba krytu v tomto případě bude provedena na 11 kroků. Po jedenácté operaci budou dva díly zároveň sklouzávat po zaoblené desce do předem připravené bedny. 3D model postupu je zobrazen na obr. 71.



Obr. 71 3D model výrobního postupu

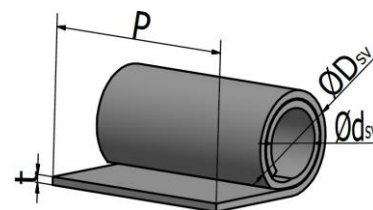
3.3 Volba polotovaru [35]

Polotovaru, ze kterého bude vyráběn kryt zámku může být ve dvou základních formách a to buď tabule plechu, nebo plechový svitek. Vzhledem k vysoké výrobní sérii bude uvažováno pouze se svítkem, který bude do nástroje dodáván pomocí odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení. Tato forma polotovaru a způsob jejího dopravení do nástroje je mnohem rychlejší, než v případě využití ručního zakládání tabule plechu. Velikosti šířky odpadu stanovené dle směrnice v příloze 2 jsou zobrazeny na obrázku 72.



Obr. 72 Velikosti šířky odpadu

Rozměry svitku jsou zvolené dle obrázku 73. Vnitřní průměr svitku ' d_{sv} ' má velikost 508 mm a vnějšího průměr svitku ' D_{sv} ' 1 000 mm.



Obr. 73 Svitek plechu

- Hmotnost svitku:

$$m_{sv} = \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot \pi \cdot P \cdot \rho_o = \frac{1\,000^2 - 508^2}{4} \cdot \pi \cdot 176 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \quad (3.1)$$

$$m_{sv} = 805 \text{ kg,}$$

$$\text{kde: } \rho_o = \text{hustota oceli} = 7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

- Délka rozvinutého svitku:

$$l_{sv} = \frac{m_{sv}}{\rho \cdot t \cdot P} = \frac{805}{7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 176} = 291\,329 \text{ mm} \quad (3.2)$$

- Počet výstřížků ze svitku:

$$P_{vsv} = 2 \cdot \frac{l_{sv}}{K} - 1 = 2 \cdot \frac{291\,329}{153} - 1 = 3807,22 \text{ výstřížků,} \quad (3.3)$$

zaokrouhleno na 3 807 výstřížků, jelikož lze vystříhnout pouze celý výstřížek.

- Počet svitků plechu pro výrobu 1 200 000 kusů:

$$P_{sv} = \frac{1\,200\,000}{P_{vsv}} = \frac{1\,200\,000}{3\,807} = 315,21 \text{ svitků,} \quad (3.4)$$

zaokrouhleno na 316 svitků (dodávání pouze celých svitků).

- Plocha výstřižků ze svitku plechu:

$$S_{vsv} = P_{vsv} \cdot S_{výstř} = 3\,807 \cdot 8\,159,967 = 31\,064\,994,37 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

$$= 31,065 \text{ m}^2$$

- Plocha svitku plechu:

$$S_{sv} = P \cdot l_{sv} = 176 \cdot 291\,329 = 51\,273\,904 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

$$= 51,274 \text{ m}^2$$

- Procento využití materiálu (svitku) dle (2.2):

$$\eta = \frac{S_{vsv}}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{31,065}{51,274} \cdot 100 = 60,59 \%$$

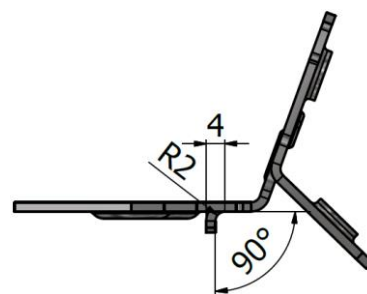
Procentuální využití plechového svitku vzhledem ke vstřícnému uspořádání výstřižků a jeho zvolených rozměrů je 60,59 %.

3.4 Odpružení

Kryt zámku obsahuje tři různé ohyby, u kterých po ohnutí může nastat odpružení. Materiál má snahu navrátit se do původní polohy. Velikost odpružení se určí třemi způsoby. Pro všechny ohyby bude využit výpočet odpružení dle vztahu (2.6):

- Ohyb nejmenšího ramene (obr. 74):

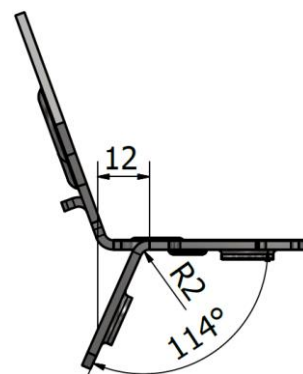
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_1 &= 0,375 \cdot \frac{l_{v1}}{k \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \\ &= 0,375 \cdot \frac{4}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} \\ &= 2,186 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta_1 = 0,125^\circ \\ &\text{kde: koeficient 'k' zvolen podle poměru} \\ &\quad R_o/t = 2/2 = 1, \text{ dle tabulky 4.} \end{aligned}$$



Obr. 74 Rozměry pro ohyb 1

- Ohyb dvou stejných ramen (obr. 75):

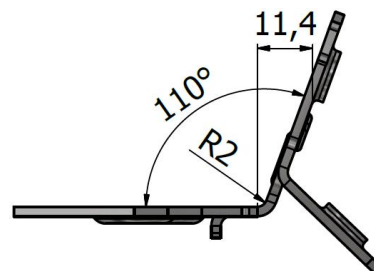
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_2 &= 0,375 \cdot \frac{l_{v2}}{k \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \\ &= 0,375 \cdot \frac{12}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} \\ &= 6,558 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta_2 = 0,38^\circ \end{aligned}$$



Obr. 75 Rozměry pro ohyb 2

- Ohyb střední části dílu (obr. 76):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta_3 &= 0,375 \cdot \frac{l_{v3}}{k \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \\ &= 0,375 \cdot \frac{11,4}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{355}{2,1 \cdot 10^5} \\ &= 6,23 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta_3 = 0,36^\circ \end{aligned}$$



Obr. 76 Rozměry pro ohyb 3

Všechny výše uvedené velikosti odpružení nepřesahují toleranci úhlu danou výkresem, která má velikost $\pm 0,5^\circ$.

3.5 Síla a práce

Pro každou tvářecí operaci je nutné vypočítat potřebnou sílu a práci. Jedná se o operace stříhání, ohýbání, ražení a lemování.

➤ stříhání:

Velikosti ploch jednotlivých stříhů byly vypočteny programem Autodesk Inventor 2015.

- stříh $\varnothing 2,7$ mm (obr. 77a) dle vztahu (2.11):

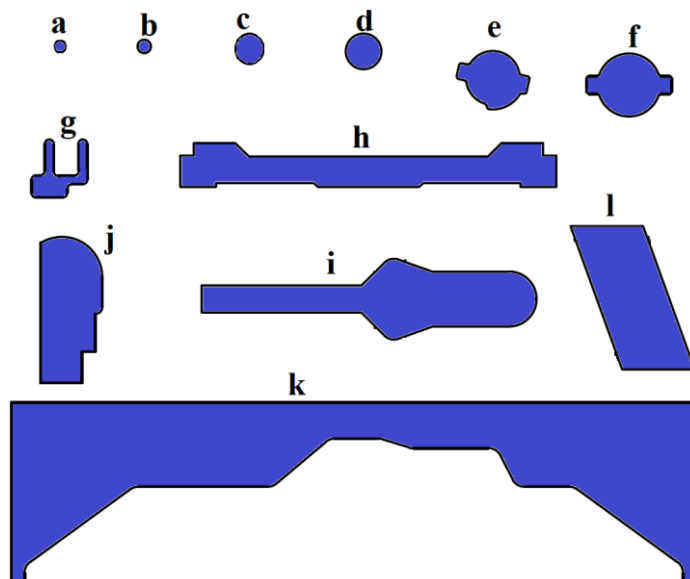
$$F_{s1} = S \cdot \tau_s \cdot n = S \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n = 16,965 \cdot 0,8 \cdot 550 \cdot 1,3 = 9\,703,98 \text{ N},$$

kde: součinitel otupení 'n' zvolen 1,3 a mez pevnosti 'Rm' 550 MPa.

Jelikož se ve zbylých střížních operacích mění ve výpočtech pouze velikosti ploch stříhů, byla vytvořena níže uvedená tabulka s hodnotami sil se stejným postupem výpočtu:

Tab. 6 Velikosti sil při stříhání

Stříh	Síla [N]	Počet střížníků [ks]	Celková síla F_{csi} [N]
$\varnothing 2,7$ mm (obr. 77a)	9 703,98	6	58 223,88
$\varnothing 3$ mm (obr. 77b)	10 782,20	8	86 257,60
$\varnothing 6,6$ mm (obr. 77c)	23 720,27	4	94 881,08
$\varnothing 8$ mm (hledáček, obr. 77d)	28 751,58	2	57 503,16
kruhovitý tvar 1 (obr. 77e)	53 397,34	2	106 794,68
kruhovitý tvar 2 (obr. 77f)	61 531,76	2	123 063,52
rameno (obr. 77g)	71 737,95	2	143 475,90
střed (obr. 77h)	217 531,60	2	435 063,20
boční (obr. 77i)	163 166,43	2	326 332,86
tvarový (obr. 77j)	82 430,92	4	329 723,68
okraj (obr. 77k)	232 813,15	2	465 626,30
přepážka (obr. 77l)	63 377,60	2	126 755,20



Obr. 77 Tvary střížníků

- celková střižná síla:

$$F_{cs} = \sum_{i=1}^{12} F_{csi} \quad [\text{N}] \quad (3.7)$$

$$= 58\,223,88 + 86\,257,60 + 94\,881,08 + 57\,503,16 + 106\,794,68$$

$$+ 123\,063,52 + 143\,475,90 + 435\,063,20 + 326\,332,86$$

$$+ 329\,723,68 + 465\,626,30 + 126\,755,20$$

$$= 2\,353\,701,06 = 2,35 \text{ MN}$$

- celková střižná práce dle (2.12):

$$A_{cs} = \frac{\pi}{4} \cdot x_s \cdot t \cdot F_{cs} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,45 \cdot 0,002 \cdot 2\,353\,701,06 = 1\,663,73 \text{ J},$$

kde: součinitel ' x_s ' zvolen 0,45.

➤ ohýbání:

- ohyb nejmenšího ramene (obr. 78) dle vztahu (2.13) a (2.15):

$$F_{o1} = \frac{R_e \cdot b_{m1} \cdot t^2}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{355 \cdot 5,5 \cdot 2^2}{2 \cdot 2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90}{2}\right) = 1\,952,50 \text{ N}$$

$$A_{o1} = F_{o1} \cdot h \cdot \psi = 1\,952,50 \cdot 0,0065 \cdot 0,6 = 7,61 \text{ J},$$

kde: součinitel zaplnění pracovního diagramu ' ψ ' zvolen 0,6 (platí i pro ostatní výpočty ohybové práce).

- ohyb stejných ramen dle vztahu (2.14) a (2.16):

$$F_{o2} = \frac{R_e \cdot b_{m2} \cdot t^2}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{355 \cdot 26,75 \cdot 2^2}{2 \cdot 2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{114}{2}\right) = 14\,622,94 \text{ N}$$

$$F_{cok2} = F_{o2} + F_{K2} = F_{o2} + 2,5 \cdot F_{o2} = 14\,622,94 + 2,5 \cdot 14\,622,94$$

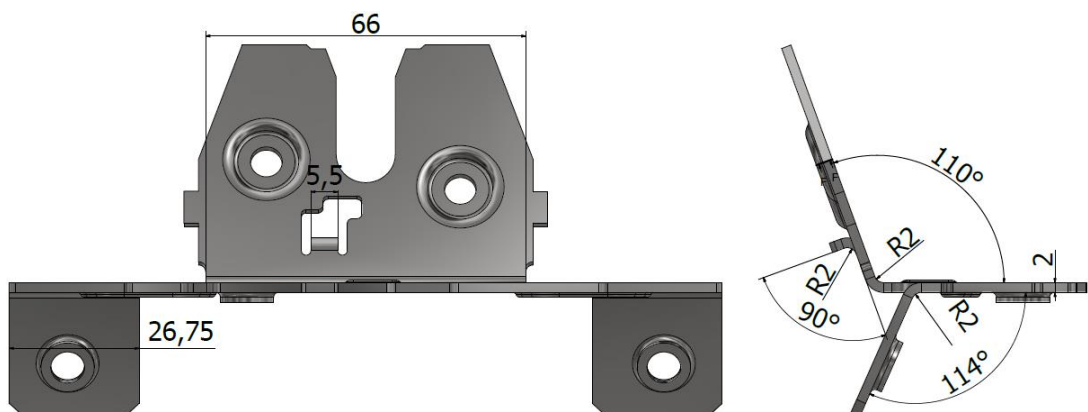
$$= 51\,180,29 \text{ N}$$

$$A_{cok2} = F_{cok2} \cdot h \cdot \psi = 51\,180,29 \cdot 0,013 \cdot 0,6 = 399,21 \text{ J}$$

- ohyb středu:

$$F_{o3} = \frac{R_e \cdot b_{m3} \cdot t^2}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{355 \cdot 66 \cdot 2^2}{2 \cdot 2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{110}{2}\right) = 33\,461,51 \text{ N}$$

$$A_{o3} = F_{o3} \cdot h \cdot \psi = 33\,461,51 \cdot 0,016 \cdot 0,6 = 321,23 \text{ J}$$



Obr. 78 Ohyb ramen

- celková ohybová síla:

$$F_{co} = 2 \cdot F_{o1} + 4 \cdot F_{cok2} + 2 \cdot F_{o3} \quad [\text{N}] \quad (3.8)$$

$$= 2 \cdot 1\,952,50 + 4 \cdot 51\,180,29 + 2 \cdot 33\,461,51 = 275\,549,18 \text{ N}$$

- celková ohybová práce:

$$A_{co} = 2 \cdot A_{o1} + 4 \cdot A_{coK2} + 2 \cdot A_{o3} \quad [J] \quad (3.9)$$

$$= 2 \cdot 7,61 + 4 \cdot 399,21 + 2 \cdot 321,23 = 2\,254,52 \text{ J}$$

➤ ražení:

- ražení 1 (obr. 79a) dle (2.18):

$$F_{R1} = n_R \cdot R_m \cdot S_{vý11} = 2,5 \cdot 550 \cdot 106,81 = 146\,863,75 \text{ N},$$

kde: součinitel zvýšení přetvárného odporu 'n_R' zvolen 2,5.

$$A_R = F_R \cdot h_R \quad [J], \quad (3.10)$$

$$A_{R1} = F_{R1} \cdot h_{R1} = 146\,863,75 \cdot 0,0015 = 220,3 \text{ J}$$

kde: A_R - razící práce [J],

h_R - razící výška [mm].

- ražení 2 (obr. 79b) dle vztahu (3.10):

$$F_{R2} = n_R \cdot R_m \cdot S_{vý12} = 2,5 \cdot 550 \cdot 101,77 = 139\,933,75 \text{ N}$$

$$A_{R2} = F_{R2} \cdot h_{R2} = 139\,933,75 \cdot 0,001 = 139,93 \text{ J}$$

- ražení 3, obr. 79c:

$$F_{R3} = n_R \cdot R_m \cdot S_{vý13} = 2,5 \cdot 550 \cdot 97,76 = 134\,420 \text{ N}$$

$$A_{R3} = F_{R3} \cdot h_{R3} = 134\,420 \cdot 0,0005 = 67,21 \text{ J}$$

- celková razící síla:

$$F_{cR} = 4 \cdot F_{R1} + 4 \cdot F_{R2} + 2 \cdot F_{R3} \quad [N] \quad (3.11)$$

$$= 4 \cdot 146\,863,75 + 4 \cdot 139\,933,75 + 2 \cdot 134\,420$$

$$= 1\,416\,030 \text{ N}$$

- celková razící práce:

$$A_{cR} = 4 \cdot A_{R1} + 4 \cdot A_{R2} + 2 \cdot A_{R3} \quad [N] \quad (3.12)$$

$$= 4 \cdot 220,3 + 4 \cdot 139,93 + 2 \cdot 67,21 = 1\,575,34 \text{ J}$$

➤ lemování:

- lemovací síla (obr. 79d) dle vztahu (2.19) a (2.20):

$$\delta = \frac{D_{1L} - d_L}{D_{1L}} = \frac{11 - 2,7}{11} = 0,755$$

$$F_L = 0,7 \cdot t \cdot D_{1L} \cdot \delta \cdot R_m = 0,7 \cdot 2 \cdot 11 \cdot 0,755 \cdot 550 = 6\,394,85 \text{ N}$$

- lemovací práce:

$$A_L = F_L \cdot H_L = 6\,394,85 \cdot 0,004 = 25,58 \text{ J} \quad (3.13)$$

kde: A_R - lemovací práce [J].

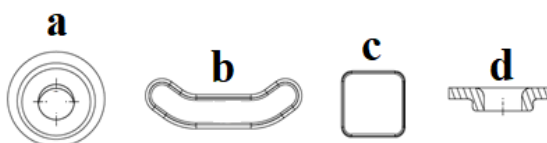
- celková síla pro lemování:

$$F_{cL} = 6 \cdot F_L = 6 \cdot 6\,394,85 = 38\,369,1 \text{ N} \quad (3.14)$$

- celková lemovací práce:

$$A_{cL} = 6 \cdot A_L = 6 \cdot 25,58 = 153,48 \text{ J} \quad (3.15)$$

kde: A_{cL} - celková lemovací práce [J].



Obr. 79 Znárodnění ražení a lemu

- celková tvářecí síla:

$$\begin{aligned} F_c &= F_{cs} + F_{co} + F_{cR} + F_{cL} \quad [N] \\ &= 2\,353\,701,06 + 275\,549,18 + 1\,416\,030 + 38\,369,1 \\ &= 4\,083\,649,34 = 4,08 \text{ MN} \end{aligned} \quad (3.16)$$

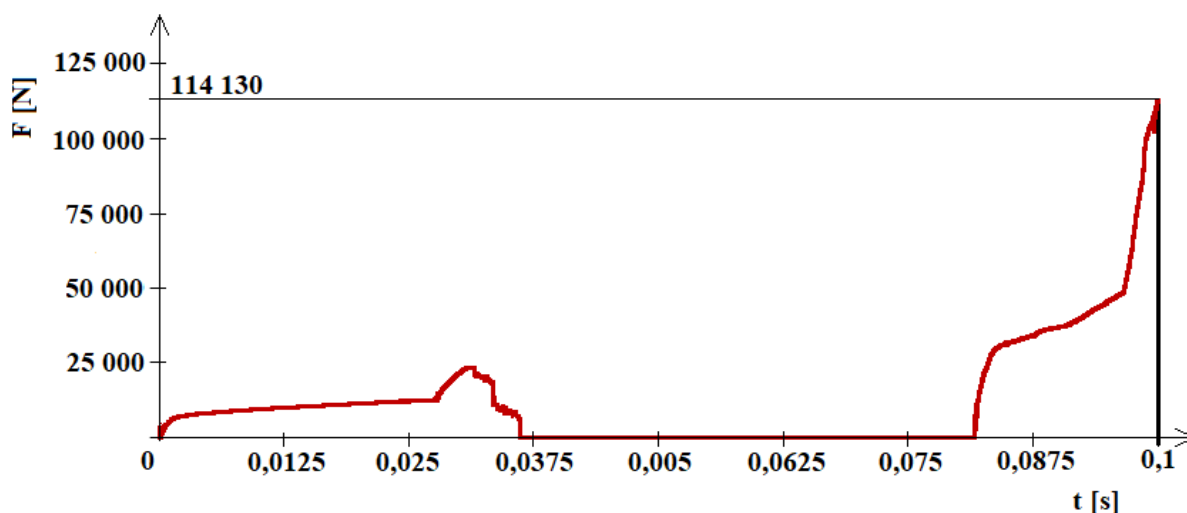
- celková práce:

$$\begin{aligned} A_{cso} &= A_{cs} + A_{co} + A_{cR} + A_{cL} \quad [J] \\ &= 1\,663,73 + 2\,254,52 + 1\,575,34 + 153,48 = 5\,647,07 \text{ J} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Celková tvářecí síla byla vypočítána na 4,08 MN. Při těchto výpočtech bylo ale uvažováno, že všechny tvářecí pochody v nástroji začnou působit zároveň svou max. silou. Jednotlivé operace v nástroji jsou ale odstupňované a nepůsobí tudíž všechny síly zároveň. Postup, jakým dochází k provedení požadovaných kroků, lze rozdělit do několika bodů jdoucím postupně za sebou:

- 1. krok – plovoucí vedení dosedá na tvářený plech a společně s ním klesá, dokud nedojde ke kontaktu se spodní částí nástroje (lisovnicí). Po dosednutí se začne ohýbat střed součásti v devátém kroku. Těsně po začátku ohybu středu, vyjede další ohybník z plovoucího vedení a nastává ohyb stejných ramen, kde největší síla nastane až při kalibraci. Dále dochází k lemování otvorů a ohybu nejmenšího ramene.
- 2. krok – v průběhu ohybů začnou klesat střižníky a jako první dosedne na materiál razník se střihem. Nejprve je jím materiál pouze prohýbán, až se dostane na střižnou hranu lisovnice, dojde ke stříhu. V tento okamžik nastanou současně i všechny zbylé střižné operace. Při tomto kroku působí v nástroji největší síla.
- 3. krok – po ukončení stříhu začnou dosedat razníky. První začne stlačovat materiál razník se střihem, poté razník pro prolis 1 mm a jako poslední razník pro prolis 0,5 mm. Při úplném dosednutí už probíhá pouze kalibrace operací.

V operaci, kdy dochází ke stříhu a poté k ražení byla vytvořena simulace průběhu. Dle níže uvedeného grafu na obrázku 80 bylo zjištěno, že nejprve je materiál střížen, síla odpovídá síle vypočtené, a až následně dochází k ražení. V případě ražení je nasimulovaná síla menší, než vypočtená.



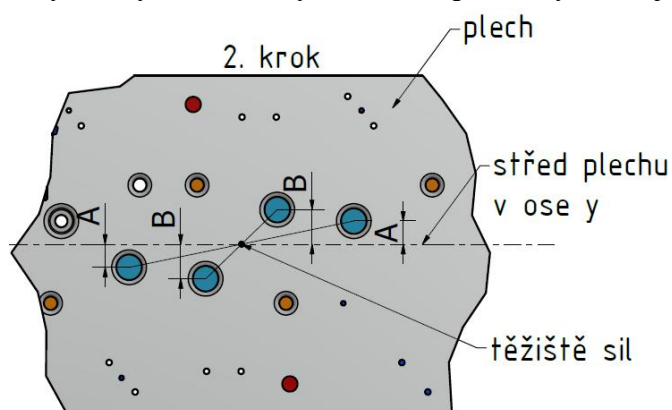
Obr. 80 Graf závislosti síly na čase

Ke stříhu otvoru Ø6,6 mm dochází v čase 0,031 sekund od kontaktu s materiálem se silou přibližně 23 500 N. Ražení nastává až při čase 0,1 sekund silou 114 130 N. V příloze 3 jsou zachyceny průběhy plastického přetvoření a smykového napětí v okamžiku stříhu a na konci ražení.

3.5.1 Těžiště sil

Těžiště sil značí místo umístění stopky, kterou je horní část nástroje uchycena k beranu stroje. V případě větších a těžších nástrojů se stopka k uchycení neuvžívá, ale těžiště sil se přesto počítá, aby bylo možné správně umístit nástroj do lisu, kde výslednice sil (těžiště) by měla ležet v ose lisu. Vzhledem k množství a složitosti jednotlivých střížných operací bude pro zjištění působíště sil využita početní varianta.

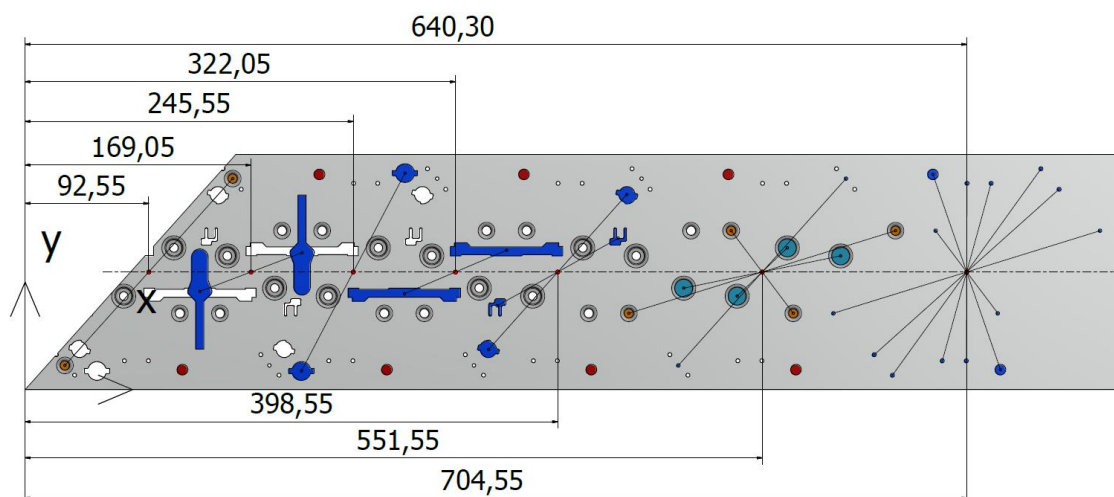
Při této variantě je nutné počítat těžiště v ose 'x' a 'y'. Jelikož bylo zvolené vstříčné rozmístění výstřížků na pás plechu, je každý druhý díl otočený o 180° a posunutý. Tím je docíleno toho, že každá stejná operace (kromě odstřížení přepážek v posledních dvou krocích), která probíhá u obou dílů zároveň, má vždy stejnou vzdálenost vlastní osy těžiště od středu plechu v ose 'y'. U střížníků, které odstříhávají přepážky v posledních dvou krocích, se jejich těžiště sil nachází ve středu plechu y-ové osy. Díky tomu bude výsledné těžiště sil ležet vždy ve středu plechu ve směru osy 'y'. Z tohoto důvodu bude počítána pouze vzdálenost v ose 'x'.



Obr. 81 Příklad určení těžiště u stejných operací

Na obrázku 81 je ukázán postup pro zjednodušení určení těžiště sil u stejných operací, které mají totožné vzdálenosti svých těžišť od osy 'y'. Těžiště sil jednotlivých funkčních částí nástroje (střížníky, ohybníky, trny, razníky) byla určena pomocí programu Autodesk Inventor 2015. Vzhledem k délce rozmístění operací při zvoleném výrobním postupu bude výpočet proveden nejprve pro první část plechu, poté pro druhou a nakonec bude z těžišť obou částí plechu vypočteno celkové těžiště v ose 'x'.

- výpočet těžiště sil první části plechu (obr. 82) dle (2.25):



Obr. 82 Určení těžiště sil první části

Tab. 7 Těžiště sil pro první část plechu

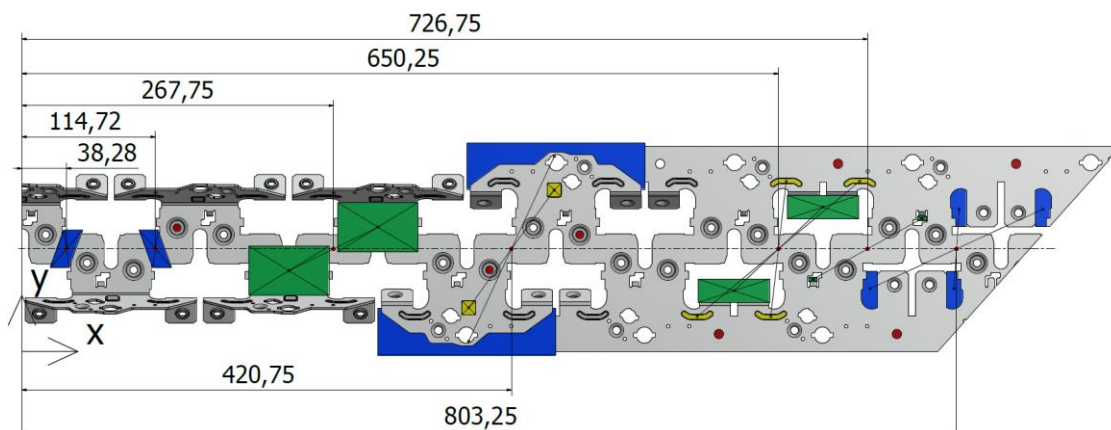
Operace	Síla [N]	Počet [ks]	Poloha 'x' [mm]	Cel. síla F_i^{x1} [N]
lem 1	6394,85	2	92,55	12789,70
střih boční	163166,43	2	169,05	326332,86
střih kruh. tvar 2	61531,76	2	245,55	123063,52
střih střed	217531,60	2	322,05	435063,20
střih kruh. tvar 1	53397,34	2	398,55	106794,68
střih ramene	71737,95	2	398,55	143475,90
lem 2	6394,85	4	551,55	25579,40
střih s ražením	170584,02	4	551,55	682336,08
střih Ø2,7 mm (a)	9703,98	2	551,55	19407,96
střih Ø8 mm	28751,58	2	704,55	57503,16
střih Ø3 mm	10782,20	8	704,55	86257,60
střih Ø2,7 mm (b)	9703,98	4	704,55	38815,92

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{F_1^{x1} \cdot a^{x1} + F_2^{x1} \cdot b^{x1} + F_3^{x1} \cdot c^{x1} \dots + F_{12}^{x1} \cdot l^{x1}}{F_1^{x1} + F_2^{x1} + F_3^{x1} \dots + F_{12}^{x1}} \\
 &= \frac{12789,70 \cdot 92,55 + 326332,86 \cdot 169,05 + 123063,52 \cdot 245,55 +}{12789,70 + 326332,86 + 123063,52 +} \\
 &\quad + 435063,20 \cdot 322,05 + 106794,68 \cdot 398,55 + 143475,90 \cdot 398,55 + \\
 &\quad + 435063,20 + 106794,68 + 143475,90 + \\
 &\quad + 551,55 \cdot (25579,40 + 682336,08 + 19407,96) + 57503,16 \cdot 704,55 + \\
 &\quad + 25579,40 + 682336,08 + 19407,96 + 57503,16 + \\
 &\quad + 86257,60 \cdot 704,55 + 38815,92 \cdot 704,55 \\
 &\quad + 86257,60 + 38815,92 = 416,16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Síla ve vypočteném bodě těžiště X_1 má velikost:

$$\begin{aligned}
 F_{cT1} &= \sum_{i=1}^{12} F_i^{x1} \text{ [N]} \\
 &= 12789,70 + 326332,86 + 123063,52 + 435063,20 + 106794,68 \\
 &\quad + 143475,90 + 25579,40 + 682336,08 + 19407,96 + 57503,16 \\
 &\quad + 86257,60 + 38815,92 = 2\,057\,419,98 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

- výpočet těžiště sil druhé části plechu dle (2.25) obr. 83



Obr. 83 Určení těžiště sil druhé části

Tab. 8 Těžiště sil pro druhou část plechu

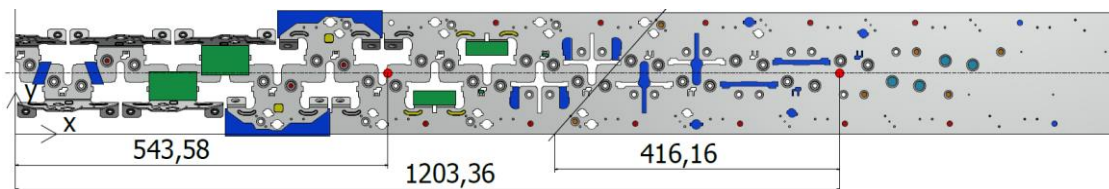
Operace	Síla [N]	Počet [ks]	Poloha 'x' [mm]	Cel. síla F_1^{x2} [N]
střih přepážka 1	63377,60	1	38,28	63377,60
střih přepážka 2	63377,60	1	114,72	63377,60
ohyb středu	33461,51	2	267,75	66923,02
ražení (a)	134420	2	420,75	268840
střih okraje	232813,15	2	420,75	465626,30
ražení (b)	139933,75	4	650,25	559735
ohyb stejných ramen	51180,29	4	650,25	204721,16
ohyb nejmenšího ramene	1952,50	2	726,75	3905
střih tvarový	82430,92	4	803,25	329723,68

$$\begin{aligned}
 X_2 &= \frac{F_1^{x2} \cdot a^{x2} + F_2^{x2} \cdot b^{x2} + F_3^{x2} \cdot c^{x2} \dots + F_9^{x2} \cdot i^{x2}}{F_1^{x2} + F_2^{x2} + F_3^{x2} \dots + F_9^{x2}} \\
 &= \frac{63377,60 \cdot 38,28 + 63377,60 \cdot 114,72 + 66923,02 \cdot 267,75 +}{63377,60 + 63377,60 + 66923,02 +} \\
 &\quad + \frac{268840 \cdot 420,75 + 465626,30 \cdot 420,75 + 559735 \cdot 650,25 +}{+268840 + 465626,30 + 559735 +} \\
 &\quad + \frac{204721,16 \cdot 650,25 + 3905 \cdot 726,75 + 329723,68 \cdot 803,25}{+204721,16 + 3905 + 329723,68} \\
 &= 543,58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Síla ve vypočteném bodě těžiště X_2 má velikost:

$$\begin{aligned}
 F_{cT2} &= \sum_{i=1}^9 F_i^{x2} \quad [\text{N}] \quad (3.19) \\
 &= 2 \cdot 63377,60 + 66923,02 + 268840 + 465626,30 + 559735 \\
 &\quad + 204721,16 + 3905 + 329723,68 = 2\,026\,229,36 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- výpočet celkového těžiště sil v ose x dle (2.25) obr. 84



Obr. 84 Určení celkového těžiště sil

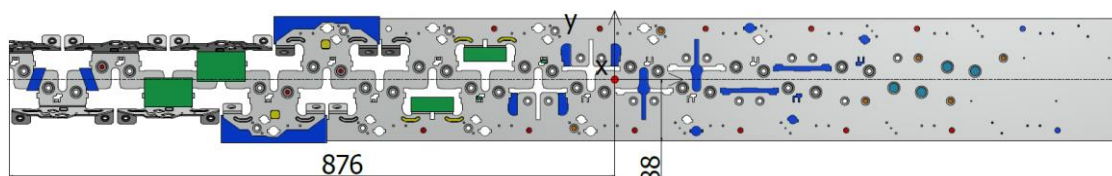
$$X_{1.1} = 1\,203,36 \text{ mm}$$

$$F_{cT1} = 2\,057\,419,98 \text{ N}$$

$$X_2 = 543,58 \text{ mm}$$

$$F_{cT2} = 2\,026\,229,36 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 X_C &= \frac{F_{cT1} \cdot X_{1.1} + F_{cT2} \cdot X_2}{F_{cT1} + F_{cT2}} = \frac{2\,057\,419,98 \cdot 1\,203,36 + 2\,026\,229,36 \cdot 543,58}{2\,057\,419,98 + 2\,026\,229,36} \\
 &= 875,99 \text{ mm,} \\
 &\text{zaokrouhleno na 876 mm.}
 \end{aligned}$$



Obr. 85 Těžiště sil

Poloha těžiště tvářecích sil se v ose 'y' nachází ve středu plechu a v ose 'x' je ve vzdálenosti 876 mm od poloviny posledního odstřihávaného dílu na plechu (obr. 85).

3.6 Volba stroje [36], [37]

Při volbě vhodného tvářecího stroje je nejdůležitějším parametrem celková tvářecí síla, která je potřebná na výrobu dílu. V případě krytu zámku má síla velikost 4,08 MN. Zvolený stroj musí mít svou jmenovitou sílu větší. Mezi další parametry patří velikost nástroje, výška zdvihu, sevření, požadovaná výrobní rychlost a především to, zda firma stroj vlastní. Na základě výše uvedených parametrů byl zvolen mechanický lis s označením KSTU 5000-30-7G RKM od firmy ANDRITZ Metals (obr. 86). Pro takto velký nástroj bývají stavěny stroje na zakázku, proto jsou níže uvedené technické parametry lisu pouze orientační. Mezi hlavní výhody zvoleného stroje patří:

- stabilní rám, který je buď z lité, nebo svařované oceli,
- motor se čtyřbodovou excentrickou hřídelí,
- čtyři různé varianty pohonu pro optimální přizpůsobení požadavkům procesu,
- plně automatické nastavení zdvihu,
- vysoce přesné navíjení pístu,
- snadná údržba díky kompaktním a snadno přístupným komponentům.

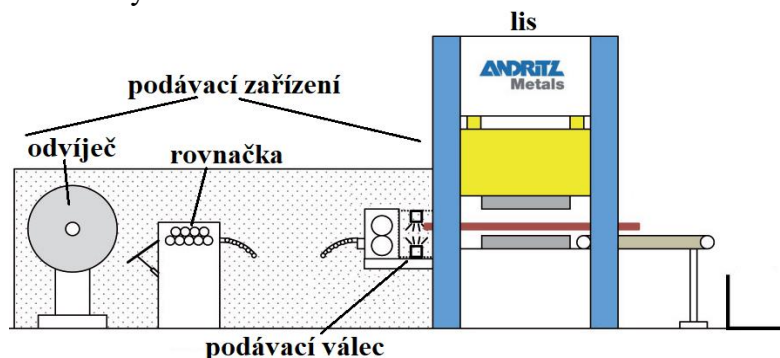


Obr. 86 Lis KSTU 5000-30-7G RKM [36]

Tab. 9 Technické parametry lisu KSTU 5000-30-7G RKM [36]

Jmenovitá tvářecí síla [kN]	5 000
Upínací plocha max. [mm]	3 500 x 1 400
Sevření [mm]	600
Přestavitelnost beranu [mm]	200
Počet zdvihů [1/min]	10 - 80
Zdvih [mm]	100 - 300
Hmotnost se základním vybavením [kg]	105 000

K lisu může být přistavěno automatické podávací zařízení (odvíjecí a rovnací zařízení). Uspořádání takovéto linky lze vidět na obrázku 87.

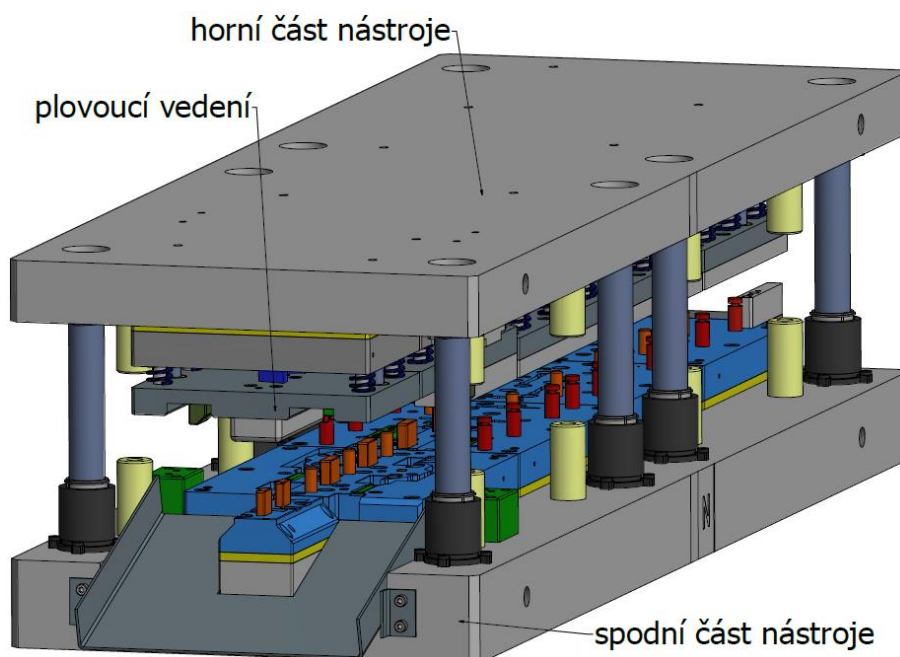


Obr. 87 Lis s podávacím zařízením [37]

3.7 Konstrukce nástroje [17], [18], [23], [27], [28]

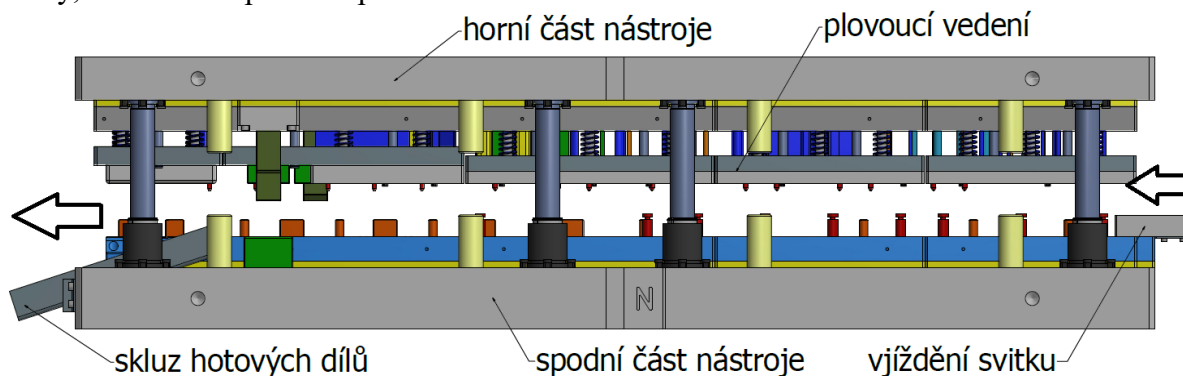
Při konstrukci nástroje je důležité vycházet z požadavků výroby krytu zámku. Uspořádání a tvary hlavních funkčních částí nástroje jsou vytvořeny na základě tvaru výrobku a zvoleného výrobního postupu. Nástroj byl vytvořen v programu Autodesk Inventor 2015 a jeho 3D model je zobrazen na obrázku 88. Nástroj lze rozdělit na tři hlavní části a to na spodní a horní část a plovoucí vedení. Plechový svitek bude do nástroje vkládán a posouván pomocí podávacího zařízení a v 11 krocích bude vytvořen hotový kryt.

Každý zdvih horní části nástroje probíhá tak, že postupně klesá horní část nástroje společně s vedením a nejprve dosedá plovoucí vedení na boční vodící kolíky a na plech, který leží



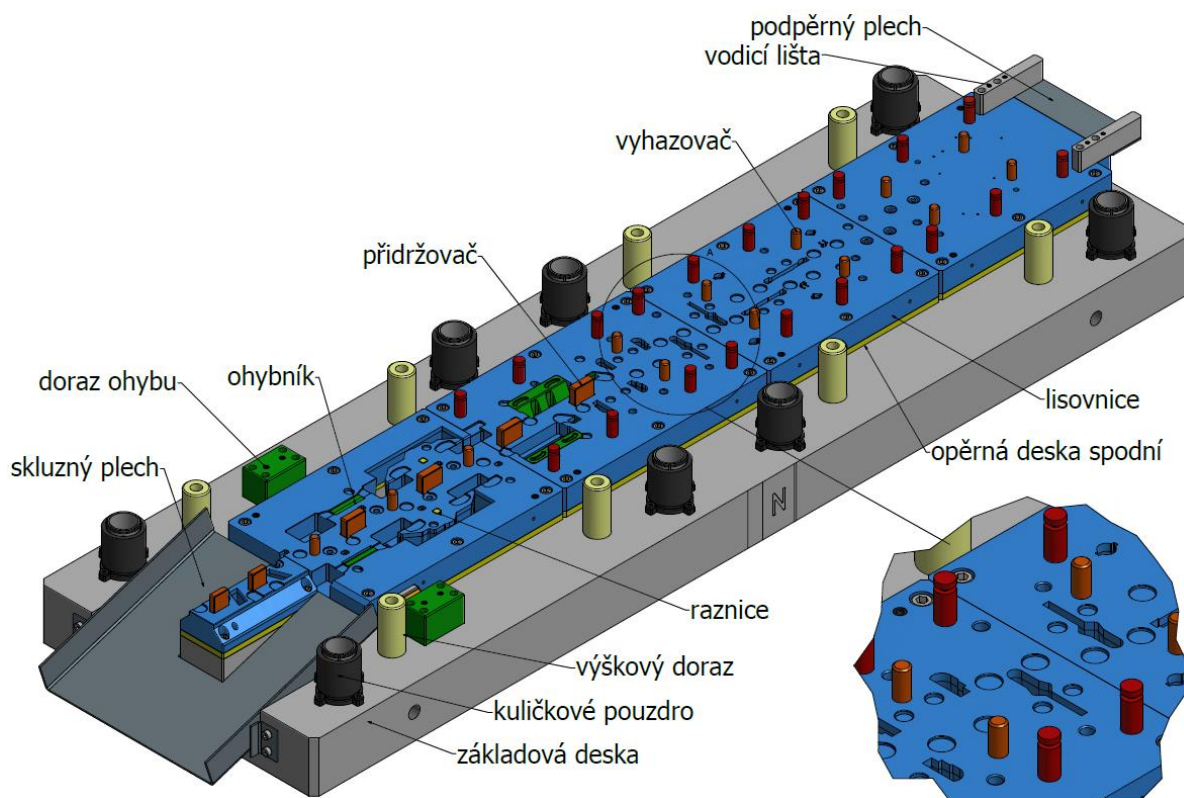
Obr. 88 Složený nástroj

v určité výšce. Poté vedení tlačí plech až do okamžiku dosednutí na lisovnici. Následně plech i vedení stojí a vršek nástroje dále sjíždí. Funkční části nástroje (střížníky, razníky, ohybníky a lem. trn) vyjíždějí z vedení a dochází k požadované operaci (lemování, stříh, ražení, ohyb). Současně také přítlačný klín dosedá na posuvný segment, nacházející se ve spodní části nástroje, posouvá ho směrem k ohybnici a ta se vysune vzhůru o danou výšku. Při každém zdvihu nástroje je plech posunut o další krok pomocí podávacího zařízení. Po poslední operaci sklouvávají hotové díly do předem připravené bedny. Odpad, vzniklý po střížných operacích, propadá základovou deskou. Místo vjíždění plechu do nástroje a skluz hotových dílů je zobrazen na obrázku 89. Pro transport nástroje jsou v základové a upínací desce vytvořeny závity, které slouží pro transportní oka.



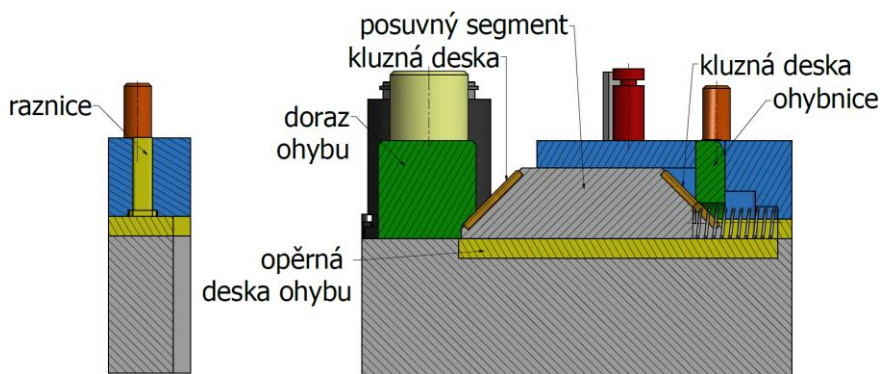
Obr. 89 Pohyb plechu v nástroji

Spodní část nástroje je zobrazena na obrázku 90. Je složena ze základové desky, v níž jsou uchycena kuličková vodící pouzdra pomocí držáků vedení. Tato pouzdra slouží k přesnému sjíždění horní části nástroje do spodní. Dále jsou zde výškové dorazy upnuty šrouby (na obrázku béžové barvy). Na konci desky je přišroubován skluzný plech, po kterém kloužou hotové díly.



Obr. 90 Spodní část nástroje

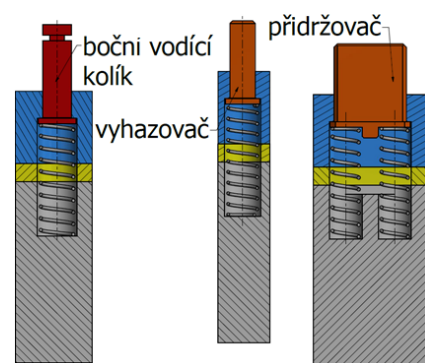
Hlavní funkční část nástroje zde tvoří lisovnice (na obrázku modře). Ta je rozdělena do pěti segmentů a každý z nich leží na opěrné desce (na obrázku žlutě) a je uchycen k základové desce pomocí šroubů a kolíků. Funkce opěrné desky spočívá ve snížení opotřebení hlavních dílů nástroje během chodu stroje. Ve třetí a čtvrté lisovnici jsou vloženy ohybníky (na obrázku zeleně). Ve čtvrté lisovnici je také vložena raznice (označena žlutě).



Obr. 91 Uchycení ohybníku a raznice

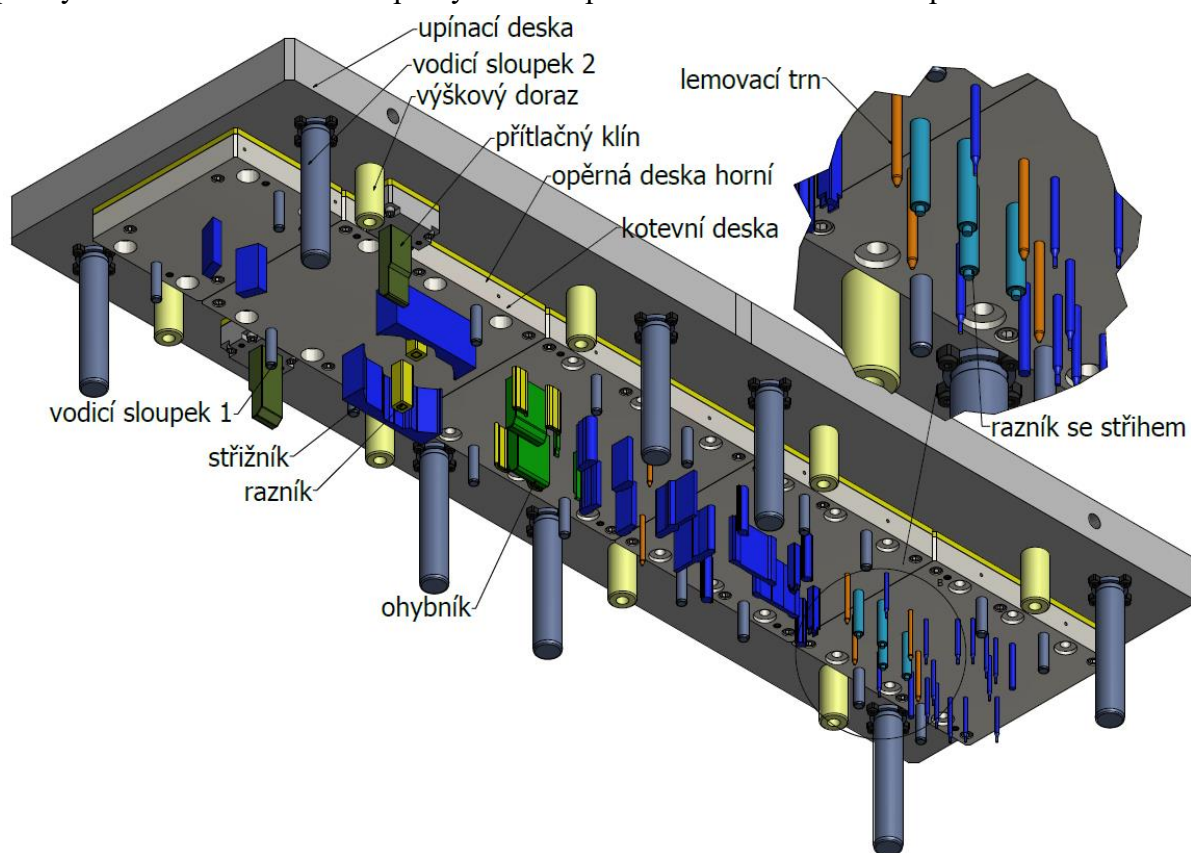
a přichycena osazením. Způsob, jakým se pohybuje ohybnice a je uchycená raznice, je zobrazen na obrázku 91. Na tomto obrázku je znázorněn klínový způsob ohybu. Ohybnice je v kontaktu s kluznou deskou a je schovaná v lisovnici. Při sjetí horní části nástroje dosedá klín na jednu zkosenou stranu posuvného segmentu, ten se začne pohybovat k ohybnici a vytlačí ji směrem vzhůru o požadovanou výšku. Po ukončení ohybu, pružina odtlačí segment, který se zarazí o doraz a ohybnice poklesne do lisovnice. Obě zkosené strany posuvného segmentu jsou opatřeny kluznými deskami, které jsou k segmentu lepeny. Pod celým posuvem je, pro snížení opotřebení základové desky, umístěna opěrná deska ohybu. Správného vedení plechu je docíleno pomocí bočních vodících kolíků (označen červeně). Zajišťují, aby nedošlo k vybočení plechu. V průběhu poklesu horní části nástroje, sjíždějí společně s plechem a po ukončení operace zvedají plech do původní polohy. Pohybují se v lisovnicích pomocí pružin.

Zdvih plechu do původní polohy je proveden také díky válcovým vyhazovačům a přidržovačům (na obrázku oranžově). Jejich pohyb je totožný s pohybem bočních vodících kolíků. Uchycení těchto dílů je zobrazeno na obrázku 92. Poslední dva díly spodní části nástroje jsou vodící lišty a podpěrný plech. K lištám je přichycen šrouby podpěrný plech a společně jsou přišroubovány k první lisovnici. Slouží ke správnému navedení plechového svitku do nástroje.



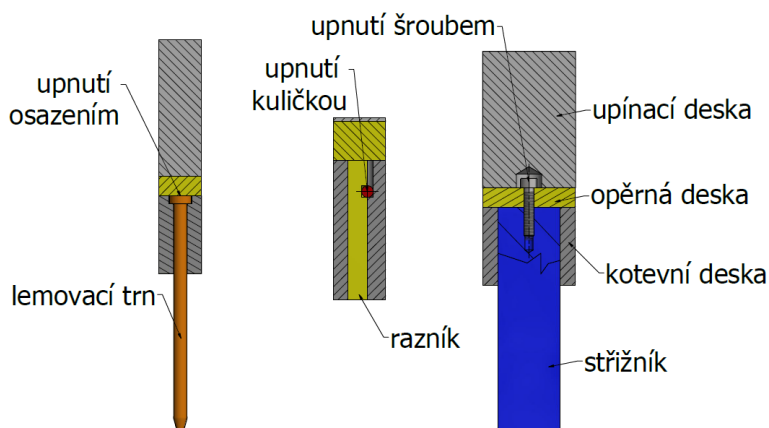
Obr. 92 Uchycení pružných dílů

Horní část nástroje popisuje obrázek 93 a tvoří ji upínací deska, ve které jsou upevněny vodící sloupky 2 pomocí šroubů a podložky a výškové dorazy. Sloupky slouží k přesnému vedení horní části nástroje do spodní a výškové dorazy plní stejnou funkci, jako ve spodku nástroje. Dále je k desce přichyceno sedm kotevních a opěrných desek pomocí šroubů a kolíků. Opěrná deska slouží ke



Obr. 93 Horní část nástroje

snížení opotřebení hlavních funkčních dílů nástroje (střížníků, ohybníků, razníků, lem. trnů a přitlač. klínů), které jsou uchyceny buď pomocí osazení (rotační díly), kuličkami v kotevní desce nebo pomocí šroubů k desce opěrné. V hlavních pěti kotevních deskách jsou také zalisovány vodící sloupky 1, které správně vedou plovoucí vedení. Příklady upnutí jednotlivých částí nástroje jsou zobrazeny na



Obr. 94 Upnutí horních částí nástroje

horní část nástroje

distanční šroub

nástrojová pružina

vodící sloupek 1

vodící sloupek 2

plovoucí vedení

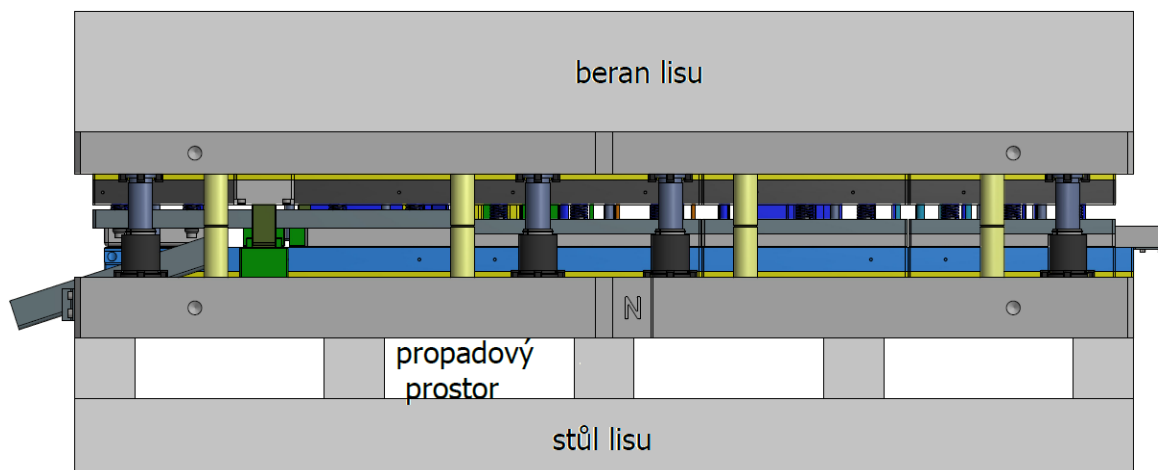
Plovoucí vedení (obr. 96) je složeno z pěti vodicích desek, které vedou hlavní funkční díl horní části nástroje a jsou v nich vodicí pouzdra, do kterých zajíždějí sloupky 1 z horní části nástroje. K těmto deskám jsou pomocí šroubů a kolíků uchyceny stírací desky, které po ukončení operace (stříhání atd...) setrou plech ze střížníků a zbylých komponentů. Ve čtvrté vodicí desce jsou zapuštěny a přišroubovány ohybníky (označeny zeleně). V prvních čtyřech stíracích deskách jsou odtlačovací kolíky (značeny černě), které odtlačí plech od stírací desky



Diagram showing the assembly of a mechanical component. The labels are: vodící deska, odtlačovací kolík, stírací deska, hledáček, ohybník, and vodící pouzdro.

55

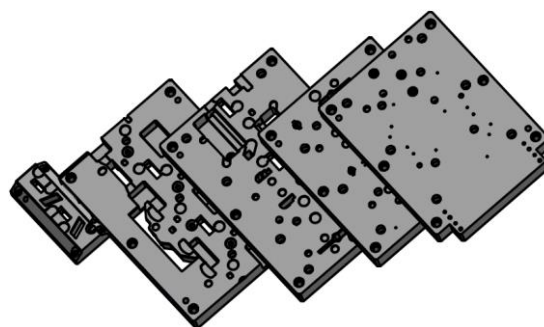
Upnutí do listu bude provedeno tak, že horní část nástroje bude pomocí upínek přichycena k beranu lisu. Spodní část nástroje bude vypořádána příčně umístěnými deskami, aby byla dodržena požadovaná výška sevření lisu. Desky budou rozmístěny tak, aby nezaslepovaly propadové otvory. Odpad, který vzniká ze střížných operací propadá mezi příčnými deskami a stolem lisu na dopravník, který je umístěn pod celým lisem a dále je přepraven do kontejneru. Díky masivní tloušťce základové desky, příčně uložených desek a tuhosti stolové desky je možný průhyb nástroje eliminován. Příklad upevnění nástroje do lisu je znázorněn na obrázku 98.



Obr. 98 Schéma upnutí nástroje do lisu

3.7.1 Návrh funkčních částí [17], [18], [19], [20], [38], [39], [40]

Mezi hlavní funkční části nástroje patří ve spodní části všechny lisovnice (obr. 99), raznice a ohybnice. V části horní se jedná o střížníky, razníky, lemovací trny a ohybníky. Tyto díly jsou z celého nástroje nejvíce namáhány, proto je potřeba, aby byly vyrobeny z kvalitních materiálů. Pro lisovnice, raznice, střížníky, razníky a lemovací trny byla zvolena ocel 19 436. Jedná se o chrom-wolfram-vanadovou ocel, která je vhodná pro vysoce namáhané a tvarově složité díly. Má vysokou odolnost proti otěru. Pro zvýšení její tvrdosti budou díly kaleny a popuštěny na 58 ± 2 HRC. Dalším materiálem, který byl použit na hlavní díly nástroje je ocel 19 573. Je to vysoce legovaná chrom-molybden-vanadová ocel, jejíž hlavní výhodou tvoří odolnost proti opotřebení. Podobně, jako předchozí ocel budou její díly kaleny a popuštěny na stejnou tvrdost.



Obr. 99 Lisovnice

Příklady dalších hlavních funkčních částí nástroje jsou zobrazeny na obrázku 100. U těchto dílů jsou důležité jejich kontrolní výpočty. V případě lisovnic (střížnice) se jedná o výpočet její tloušťky, u střížníků a zbylých dílů jde o kontrolu na vzpěr a otláčení.

- Kontrola tloušťky střížnice:

$$H_s = \sqrt[3]{F_s} \quad [\text{mm}], \quad (3.20)$$

kde: H_s – tloušťka střížnice $[\text{mm}]$.

$$H_s = \sqrt[3]{1\,160\,432,83} = 105,08 \text{ mm}$$

Výpočet byl proveden pro lisovnici 2. Její hodnota ve výpočtu je dána součtem jednotlivých sil působících na danou lisovnici. Vzhledem k tomu, že pod lisovnicí se nachází ještě opěrná, základová a příčně vložená deska, je výsledná vypočtená hodnota nižší, než součet na sobě

umístěných desek. Výška lisovnice byla zvolena na základě porovnání podobných nástrojů a její velikost je 40 mm.

- Kontrola největšího střížníku na otláčení dle (2.31):

$$\sigma_{\text{dov1}} = \frac{F_{s11}}{S_{d11}} = \frac{232\,813,15}{2\,993,13} = 77,78 \text{ MPa}$$

- Kontrola střížníku průměru 3 mm na otláčení dle (2.31):

$$\sigma_{\text{dov2}} = \frac{F_{s2}}{S_{d2}} = \frac{10\,782,20}{78,54} = 137,28 \text{ MPa}$$

Dosedací plocha byla vypočtená programem Autodesk Inventor 2015. U oceli je dovolené napětí 180 MPa. Výsledky tudíž vyhovují danému maximu.

- Kontrola střížníku na vzpěr dle (2.32):

Na výpočet bude použit nejmenší střížník, jelikož u něj hrozí největší riziko ztráty stability. Jedná se o střížník, který vystřihuje $\varnothing 2,7$ mm. Stříhaný průměr má střížník až na konci své délky a zbylou délku má $\varnothing 6$ mm.

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 6^4}{64}}{2 \cdot 9\,703,98}} = 164,849 \text{ mm},$$

koeficient bezpečnosti ' k_b ' volen 2.

Z výpočtu kontroly na vzpěr vychází, že střížník vyhovuje. Jeho délka je 114 mm a kritická délka je 164,849 mm. Navíc je střížník vedený ve vodící desce a další část jeho délky je v kotevní desce a jediná jeho délka ke vzepření má velikost 40 mm.

Dalším důležitým bodem je stanovení rozměrů střížníků a střížnic. Pro tento výpočet je nutné nejprve vypočítat střížnou vůli dle (2.1):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot C \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 550} = 0,27 \text{ mm},$$

součinitel závislosti na stupni stříhu ' C ' zvolen 0,1.

Po vypočtení vůle je proveden vzorový výpočet střížnice a střížníku pro nejmenší otvor $\varnothing 2,7$ mm. Při určení rozměrů se počítá se vzorci, které uvažují přípustnou míru opotřebení podle normy ČSN 22 6015 (příloha 4). Rozměr otvoru $\varnothing 2,7 \pm 0,1$ mm se děrováním zmenšuje. Dle přílohy 5 odpovídá jeho toleranci přípustná míra opotřebení $P_{\text{op}} = 0,16$ mm, tolerance střížníku 0,035 mm a střížnice 0,054 mm.

- Výpočet střížnice $\varnothing 2,7$ mm

$$A_{\text{ed1}} = (A_j + \frac{P_{\text{op}}}{2} + v)^{+\delta_e} = (2,7 + \frac{0,16}{2} + 0,27)^{+0,054} = 3,05^{+0,054} \text{ mm}, \quad (3.21)$$

kde: P_{op} = přípustná míra opotřebení [mm].

- Výpočet střížníku $\varnothing 2,7$ mm

$$A_{\text{kd1}} = (A_j + \frac{P_{\text{op}}}{2})_{-\delta_k} = (2,7 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 2,78_{-0,035} \text{ mm} \quad (3.22)$$

4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení slouží k určení ceny, za kterou bude kryt zámku pomocí vhodně zvolené technologie vyroben. Při výpočtech není uvažováno s dalšími operacemi, které jsou spojeny s výrobkem. Mezi ně patří povrchová úprava a náklady spojené s transportem. Náklady, které jsou ve výpočtech zahrnuty lze rozdělit do několika skupin a těmi jsou náklady na materiál, nástroj, mzdy, energie a režie.

- Náklady na materiál

Počet svitků $P_{sv} = 316$ svitků,

cena 1 kg materiálu $C_{1m} = 21$ Kč,

hmotnost svitku $m_{sv} = 805$ kg,

cena 1 kg odpadu $C_{1o} = 4,40$ Kč.

- Hmotnost svitků:

$$m_{csv} = P_{sv} \cdot m_{sv} = 316 \cdot 805 = 254\,380 \text{ kg} \quad (4.1)$$

- Cena všech svitků:

$$C_{sv} = C_{1m} \cdot m_{csv} = 21 \cdot 254\,380 = 5\,341\,980 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

- Hmotnost jednoho výrobku:

$$m_{výr} = S_{výstř} \cdot t \cdot \rho = 8\,159,967 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,128 \text{ kg} \quad (4.3)$$

- Celková hmotnost všech výrobků (1 200 000 výrobků):

$$m_{cv} = m_{výr} \cdot 1\,200\,000 = 0,128 \cdot 1\,200\,000 = 153\,600 \text{ kg} \quad (4.4)$$

- Hmotnost odpadu po vyrobení všech dílů:

$$m_{co} = m_{csv} - m_{cv} = 254\,380 - 153\,600 = 100\,780 \text{ kg} \quad (4.5)$$

- Cena celého odpadu:

$$C_{co} = m_{co} \cdot C_{1o} = 100\,780 \cdot 4,40 = 443\,432 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

- Celkové náklady za materiál:

$$N_m = C_{sv} - C_{co} = 5\,341\,980 - 443\,432 = 4\,898\,548 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

- Náklady na nástroj

V ceně nástroje je zahrnuta výroba celého nástroje, navíc včetně výroby náhradních hlavních funkčních částí nástroje (střížníky, ohybníky, razníky atd...). Na základě porovnání s ostatními nástroji byla cena vyčíslena na $N_n = 3\,900\,000$ Kč.

- Náklady na mzdy

Pracovní doba stanovena na $t_{p\text{dob}} = 8$ hodin, přičemž 0,5 hodiny je pauza na oběd. Další 1 hodina je doba pro kontrolu výrobků, údržbu aj. Výrobní doba je po odečtení hodin $t_v = 6,5$ hodin.

- Počet vyrobených dílů za hodinu:

Při zvoleném nástřihovém plánu jsou vyráběny dva díly zároveň. Čas potřebný na vyrobení jednoho dílu byl odhadnut na $t_{vd} = 2,4$ sekund (není uvažováno s časem počátečního založení plechu a vyrobení prvního dílu).

$$P_{vdh} = 2 \cdot \frac{3\,600}{t_{vd}} = 2 \cdot \frac{3\,600}{2,4} = 3\,000 \text{ dílů za hodinu} \quad (4.8)$$

- Počet dílů za směnu:

$$P_{ds} = P_{vdh} \cdot t_v = 3\,000 \cdot 6,5 = 19\,500 \text{ dílů}, \quad (4.9)$$

- Počet potřebných směn:

$$P_{\text{směn}} = \frac{1\,200\,000}{P_{\text{ds}}} = \frac{1\,200\,000}{19\,500} = 61,54 \text{ směn}, \quad (4.10)$$

zaokrouhleno na 62 směn.

- Celkový počet hodin:

$$P_{\text{ph}} = (t_{\text{pdob}} - 0,5) \cdot P_{\text{směn}} = (8 - 0,5) \cdot 62 = 465 \text{ hod.} \quad (4.11)$$

- Celková mzda:

Hodinová mzda stanovená na $M_z = 250$ Kč/hod, je uvedena včetně odvodů zaměstnance a zaměstnavatele (soc. a zdravotní pojištění).

$$N_{\text{mzdy}} = P_{\text{ph}} \cdot M_z = 465 \cdot 250 = 116\,250 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

- Náklady na energie

Příkon stroje není z katalogu společnosti udáván, proto bude určen na základě podobných strojů na $P_{\text{stroj}} = 55$ kW, cena energie $C_{\text{kWhod}} = 4,28$ Kč/kWh.

$$N_E = P_{\text{stroj}} \cdot C_{\text{kWhod}} \cdot P_{\text{ph}} = 55 \cdot 4,28 \cdot 465 = 109\,461 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

- Náklady na režii

Režijní náklady jsou nepřímé výdaje firmy. Patří sem řízení a provoz společnosti. Přesné hodnoty této režie nejsou známy, proto budou určeny ze mzdy zaměstnance.

- Výrobní režie:

$$N_{\text{výrr}} = N_{\text{mzdy}} \cdot 3,28 = 116\,250 \cdot 3,28 = 381\,300 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

- Správní režie

$$N_{\text{správr}} = N_{\text{mzdy}} \cdot 1,25 = 116\,250 \cdot 1,25 = 145\,312,5 \text{ Kč}, \quad (4.15)$$

zaokrouhleno na 145 313 Kč.

- Celkové náklady na režii:

$$N_{\text{crežie}} = N_{\text{výrr}} + N_{\text{správr}} = 381\,300 + 145\,313 = 526\,613 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

- Celkové náklady na výrobu 1 200 000 dílů:

$$N_{\text{cvýr}} = N_m + N_n + N_{\text{mzdy}} + N_E + N_{\text{crežie}} \quad (4.17)$$

$$N_{\text{cvýr}} = 4\,898\,548 + 3\,900\,000 + 116\,250 + 109\,461 + 526\,613$$

$$N_{\text{cvýr}} = 9\,550\,872 \text{ Kč}$$

- Náklady na vyrobení jednoho dílu:

$$N_{\text{vdíl}} = \frac{N_{\text{cvýr}}}{1\,200\,000} = \frac{9\,550\,872}{1\,200\,000} = 7,959 \text{ Kč}, \quad (4.18)$$

zaokrouhleno na 7,96 Kč.

- Cena dílu a zisk:

Pro určení výsledné ceny jednoho dílu bude počítáno s přírážkou firmy (marže) 80%.

- Cena dílu:

$$C_d = 1,8 \cdot N_{\text{vdíl}} = 1,8 \cdot 7,96 = 14,328 \text{ Kč}, \quad (4.19)$$

zaokrouhleno na 14,33 Kč.

- Celková tržba:

$$C_T = 1,8 \cdot N_{\text{cvýr}} = 1,8 \cdot 9\,550\,872 = 17\,191\,569,6 \text{ Kč}, \quad (4.20)$$

zaokrouhleno na 17 191 570 Kč.

- Celkový zisk:

$$Z_c = C_T - N_{\text{cvýr}} = 17\,191\,570 - 9\,550\,872 = 7\,640\,698 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

Při výrobě 1 200 000 dílů za tři roky byly vypočteny celkové výrobní náklady 9 550 872 Kč. S připočtením marže firmy je cena dílu 14,33 Kč a celkový zisk za tři roky 7 640 698 Kč.

5 ZÁVĚRY

V práci byl vytvořen návrh pracovního postupu výroby krycího plechu zámku, který po sestavení s dalšími díly je součástí zámku pátých dveří osobního automobilu. Výrobní série krytu je 1 200 000 kusů za tři roky. Při volbě vyhovujícího materiálu bylo přihlédnuto k tloušťce dílu 2 mm, jeho využití a požadavkům zákazníka. Zámek je umístěn v zadní části automobilu, kde přichází do kontaktu s vodou a působí na něj vibrace způsobené provozem vozidla. Materiál krytu musí být vůči těmto vlivům odolný. Na základě těchto požadavků byla zvolena mikrolegovaná konstrukční ocel S355MC.

Z možných způsobů výroby byla vybrána nejvhodnější varianta pomocí postupového sdruženého nástroje, ve kterém je možné provádět zároveň střížné, ohybové, razící a lemovací operace.

Nejprve byla posouzena technologičnost a následně byl řešen rozvinutý tvar krytu, díky kterému bylo určeno správné rozmístění výstřižků na pás. Po zohlednění složitosti nástroje, spotřeby materiálu a velikosti výrobní série bylo vybráno vstřícné uspořádání výstřižků. Pro dané rozmístění byl vytvořen vhodný výrobní postup, při němž bude díl vyroben v jedenácti různých operacích. Jako polotovár byl zvolen svitek s vypočteným využitím 60,59 %. Následně byly provedeny potřebné výpočty odpružení, sil a prací. Po vypočtení sil a jejich působišť bylo určeno těžiště výsledné působící síly o velikosti 4,08 MN.

Vzhledem k potřebné síle, postupu výroby a s přihlédnutím k firemnímu strojovému parku byl zvolen lis KSTU 5000-30-7G RKM od firmy ANDRITZ Metals. Tento lis je se svou jmenovitou silou 5 MN pro danou výrobu vyhovující. Na základě vybraného stroje, potřebných výpočtů, velikosti série a výrobního postupu byl zkonstruován postupový sdružený nástroj, jehož výkresová dokumentace je uvedena v přílohách.

V technicko-ekonomickém zhodnocení byly vypočteny náklady na materiál 4 898 548 Kč, pořízení nástroje 3 900 000 Kč, mzdy 1 162 250 Kč, energie 109 461 Kč a výrobní a správní režie 526 613 Kč. Po součtu výše uvedených hodnot činí celkové výrobní náklady 9 550 872 Kč. Při sérii 1 200 000 kusů je výsledná cena na výrobu jednoho dílu 7,96 Kč. Po započtení marže je cena výrobku 14,33 Kč. Celkový předpokládaný zisk za tři roky bude 7 640 698 Kč. Tyto hodnoty jsou pouze orientační, jelikož není uvažováno se zbylými operacemi s dílem (tep. zpracování a transport dílů).

Po uvážení všech výše uvedených výsledků a s předpokladem dlouhodobé výroby, je vybraná technologie vyhovující.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. RUBÁŠ, Petr. *Výroba kovového zálisku*. Brno, 2017. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/100961>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. LIDMILA, Zdeněk, Emil SVOBODA a Karel NOVOTNÝ. *Strojírenská technologie: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Univerzita obrany, 2007. ISBN 978-80-7231-220-7.
4. Technologie II. Technologie tváření kovů [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
5. DASHENG METAL. Výrobky: Lisování dílů [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://cz.oemdeepdrawn.com/stamping-parts/steel-stamping-parts/stamped-metal-partsandpress-stamping-and-bending.html>
6. U.S.News. 2017 Subaru Outback [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://cars.usnews.com/cars-trucks/subaru/outback/2017/photos-exterior>
7. ASM INTERNATIONAL. *Vysoce pevné mikrolegované oceli* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://svv.cz/files/2.11.vysocepevnmikroleg.ocelipdf.pdf>
8. ALFUN a.s. *Ocelové plechy a pásy válcované za tepla: Mikrolegované jakosti konstrukčních ocelí* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/ocel/plechy-a-pasy-valcovane-za-tepla>
9. Bolzano. *Ploché výrobky válcované za tepla z ocelí s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Ploche_vyroby/MOP_EN10149TDP.pdf
10. WITTE Automotive [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.witte-automotive.cz/>
11. Učíme v prostoru: Lití pod tlakem. In: *Stroje se studenou tlakovou komorou* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2621
12. Moodle Třebešín. *Slévárství: Lití pod tlakem* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: https://www.moodletrebesin.cz/pluginfile.php/9847/mod_resource/content/0/5.%20LIT%C3%8D%20TLAKOV%C3%89.pdf
13. Řezání cnc. *Technická data: Princip řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
14. Řežeme vodou. *Řezání vodou: Jak řezání funguje* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
15. Swanglen Metal Products. *Flow Drill & Tap* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.swanglenmetalproducts.co.uk/flow-drilling-and-tapping/>

16. FINDA, Luděk, Roman HALTUF a Trumpf Zákaznické a aplikační centrum. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. ČVUT v Praze, 2010, 2010(6) [cit. 2019-04-07]. ISSN 100616. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
17. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
18. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
19. NOVOTNÝ, Josef, Zdeněk LANGER a Viktor TITTEL. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
20. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – V PŘÍKLADECH. *STŘÍHÁNÍ PLECHU* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf
21. Technologie II. *Technologie plošného tváření - stříhání* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
22. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
23. MORAVEC, Ján a Robert M. CADDELL. *Ohýbanie a ohýbacie nástroje: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 80-807-0040-0.
24. Technologie II. *Technologie plošného tváření – ohýbání* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
25. Moodle Třebešín. *OHÝBÁNÍ* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9815/mod_resource/content/0/3.%20Oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD.pdf
26. Trumpf. *Produkty: Děrovací stroje* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/derovaci-stroje/trupunch-1000-s19/
27. KEJVAL, Zdeněk. *Tváření plechu*. 4. Nástroje pro zpracování plechu 2. Praha: SNTL, 1962. Knižnice strojírenské výroby.
28. KUBÍČEK, Miroslav. *Tváření: Konstrukce ohýbacích nástrojů* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-14.pdf
29. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II: tvářecí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-708-3482-X.

30. MAŇAS, Stanislav. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: Část: TVÁŘECÍ STROJE* [online]. Praha, 2007 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
31. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2015 [cit. 2019-04-07]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
32. NOVOTNÝ, Karel. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: TVÁŘECÍ STROJE* [online]. 2002 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
33. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. *MM Průmyslové spektrum* [online]. ČVUT v Praze, 2011, 2011(12) [cit. 2019-04-07]. ISSN 111213. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologickost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
34. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologickost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. ČVUT v Praze, 2012, 2012(4) [cit. 2019-04-07]. ISSN 120426. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologickost-konstrukce-pri-ohybani.html>
35. ZBROJOVKA BRNO. *LISOVACÍ NÁSTROJE: Konstrukční směrnice, rozměrové tabulky dílů. ČÁST I.* Brno, 1981.
36. ANDRITZ Kaiser. *Stanz- und Umformautomaten FlexLine – 630 kN bis 15.000 kN* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.andritz.com/resource/blob/19278/8e24be9ef1b8004b49705625b17c84e8/me-kaiser-flexline-brochure-de-data.pdf>
37. ANDRITZ Kaiser. *Peripherieausrüstung für Stanz- und Umformautomaten* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.andritz.com/resource/blob/19280/95a114679d5a2e2faf3f76f4673f5291/me-kaiser-peripherie-brochure-de-data.pdf>
38. TumliKOVO. *Nástrojové oceli* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/nastrojovematerialy/page/2/>
39. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha).* 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
40. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřle: Směrnice pro výpočet a konstrukci.* Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_{cL}	celková lemovací práce	[J]
A_{co}	celková ohybová práce	[J]
A_{cok}	celková ohybová a kalibrační práce	[J]
A_{cso}	celková střížná a ohybová práce	[J]
A_{cR}	celková razící práce	[J]
A_{ed}	rozměr střížnice u děrování	[mm]
A_{ev}	rozměr střížnice u vystřihování	[mm]
A_j	jmenovitý rozměr výstřižku	[mm]
A_{kd}	rozměr střížníku u děrování	[mm]
A_{kv}	rozměr střížníku u vystřihování	[mm]
A_L	lemovací práce	[J]
A_o	ohybová práce	[J]
A_R	razící práce	[J]
A_s	střížná práce	[J]
a	vzdálenost mezi kruhovými otvory	[mm]
a_o	minimální vzdálenost otvoru od místa ohybu	[mm]
b	vzdálenost mezi otvory	[mm]
b_m	šířka materiálu	[mm]
b_{oh}	šířka průřezu plechu po ohybu	[mm]
$b_{pův}$	původní šířka průřezu plechu	[mm]
C	součinitel závislosti na stupni stříhu	[-]
C_{co}	celková cena odpadu	[Kč]
$C_{kW\text{hod}}$	cena jedné kW hodiny	[Kč/kWh]
C_{sv}	cena svítku	[Kč]
C_{1m}	cena 1 kg materiálu	[Kč]
C_{1o}	cena 1 kg odpadu	[Kč]
c	vzdálenost mezi otvorem a okrajem	[mm]
c_r	koeficient	[-]
D_L	vnitřní průměr lemu	[mm]
D_{sv}	vnější průměr svítku	[mm]
D_{1L}	vnější průměr lemu	[mm]
d_L	průměr předstříženého otvoru	[mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svítku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	vzdálenost mezi výstřižky	[mm]
F	síla	[N]
F_c	celková tvářecí síla	[N]
F_{cL}	celková lemovací síla	[N]
F_{co}	celková ohybová síla	[N]
F_{cok}	celková ohybová a kalibrační síla	[N]
F_{cR}	celková razící síla	[N]
F_{cs}	celková střížná síla	[N]
F_{cT}	celková síla v těžišti	[N]
F_h	horizontální síla	[N]
F_K	kalibrační síla	[N]
F_L	lemovací síla	[N]
F_o	ohybová síla	[N]
F_R	razící síla	[N]

Označení	Legenda	Jednotka
F_s	střížná síla	[N]
F_v	vertikální síla	[N]
F_x	síla v x-ovém směru	[N]
F_y	síla v y-ovém směru	[N]
f	vzdálenost okraje od výstřižku	[mm]
H	výška zdvihu stroje	[mm]
H_L	výška lemu	[mm]
H_s	tloušťka střížnice	[mm]
h	výška zdvihu ohybníku	[mm]
h_R	razicí výška	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
j	počet rovných úseků	[-]
K	krok	[mm]
k	koeficient ohybu	[-]
k_b	koeficient bezpečnosti	[-]
l	vzdálenost ohýbacích částí	[mm]
l_{krit}	kritická délka	[mm]
l_n	délka ohnutého úseku	[mm]
l_p	rozvinutá délka polotovaru	[mm]
l_r	minimální délka ohýbaného ramene	[mm]
l_s	velikost délky s-tého rovného úseku	[mm]
l_{sv}	délka rozvinutého svitku	[mm]
M_z	hodinová mzda	[Kč/hod]
m_{co}	celková hmotnost odpadu	[kg]
m_{csv}	celková hmotnost svitků	[kg]
m_{cv}	hmotnost všech výrobků	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
$m_{výr}$	hmotnost výrobku	[kg]
$N_{crežie}$	celkové náklady na režii	[Kč]
$N_{cvýr}$	celkové výrobní náklady	[Kč]
N_E	náklady na energie	[Kč]
N_m	náklady na materiál	[Kč]
N_{mzdy}	náklady na mzdy	[Kč]
N_n	náklady na nástroj	[Kč]
$N_{správr}$	náklady na správní režii	[Kč]
$N_{vdíl}$	náklady na výrobu jednoho dílu	[Kč]
$N_{výrr}$	náklady na výrobní režii	[Kč]
n	součinitel otupení	[-]
n_R	součinitel zvýšení přetvárného odporu	[-]
P	šířka pásu	[mm]
P_{ds}	počet dílů vyrobených za směnu	[-]
P_{op}	přípustná míra opotřebení	[mm]
P_{ph}	potřebný počet hodin	[hod]
$P_{směn}$	počet směn	[-]
P_{stroj}	příkon stroje	[kW]
P_{sv}	počet svitků	[-]
P_{vdh}	počet dílů vyrobených za hodinu	[-]
P_{vsv}	počet výstřižků ze svitku	[-]
p	tvářecí tlak pro ražení	[MPa]

Označení	Legenda	Jednotka
R_L	poloměr ohybu lemu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
R_p	poloměr ohybníku	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
r	poloměr ohýbadla, dílu	[mm]
S	střižná plocha	[mm ²]
S_d	dosedací plocha	[mm ²]
S_{sv}	plocha svítků plechu	[mm ²]
S_{vsv}	plocha výstřižků ze svítku	[mm ²]
$S_{výl}$	plocha výlisku	[mm ²]
t	tloušťka materiálu	[mm]
t_{oh}	tloušťka průřezu plechu po ohybu	[mm]
t_{pdob}	pracovní doba	[hod]
$t_{pův}$	původní tloušťka průřezu plechu	[mm]
t_v	výrobní čas	[hod]
t_{vd}	výrobní čas jednoho dílu	[s]
$ú$	počet ohnutých úseků	[-]
v	střižná vůle	[mm]
v_n	rychlost beranu	[m/s]
X	poloha těžiště síly v bodě v x-ovém směru	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální osy	[-]
x_s	součinitel u stříhu	[-]
Y	poloha těžiště síly v bodě v y-ovém směru	[mm]
z	střižná mezera	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
Δ	tolerance součásti	[mm]
δ	poměr velikosti otvoru	[-]
δ_e	výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_k	výrobní tolerance střižníku	[mm]
ε_0	mezní prodloužení krajního vlákna	[mm]
η	využití materiálu	[%]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
ρ_o	hustota oceli	[kg · m ⁻³]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_K	extrapolovaná mez kluzu	[MPa]
$\sigma_{1,2,3}$	tahové a tlakové napětí	[MPa]
σ_{1s}	mez kluzu menší než σ_K	[MPa]
τ_s	střižný odpor	[MPa]
ψ	součinitel zaplnění pracovního diagramu	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady tvářených výrobků [5]	9
Obr. 2 Kryt zámku	10
Obr. 3 Schéma využití krytu zámku [6]	10
Obr. 4 Popis částí krytu	10
Obr. 5 Logo firmy a výrobek [10]	11
Obr. 6 Princip odlévání [12]	12
Obr. 7 Řezání vodním paprskem [13]	12
Obr. 8 Příklad ohýbacího nástroje [17]	12
Obr. 9 Princip technologie flowdrill [15]	13
Obr. 10 Vysekávací nástroj [16]	13
Obr. 11 Příklad stříhadla [17]	13
Obr. 12 Příklad postupového sdruženého nástroje [17]	14
Obr. 13 Průběh stříhání [19]	14
Obr. 14 Fáze procesu stříhání [18], [19]	15
Obr. 15 Stav napjatosti stříhání [18], [19]	15
Obr. 16 Střižná plocha [19]	16
Obr. 17 Střižná vůle [17]	16
Obr. 18 Příklady velikostí střižné vůle [18]	16
Obr. 19 Způsoby umístění výstřížku na plech [19]	17
Obr. 20 Způsoby rozmístění výstřížků podle odpadu [18]	17
Obr. 21 Princip ohýbání [18], [24]	18
Obr. 22 Deformovaný průřez po ohýbání [24]	18
Obr. 23 Napětí ve fázích ohybu [3]	18
Obr. 24 Napětí a neutrální osa [2]	19
Obr. 25 Rozvinutá délka polotovaru [25]	20
Obr. 26 Odpružení [24]	21
Obr. 27 Ohyb s parametry pro odpružení [24]	21
Obr. 28 Příklady eliminace odpružení [17], [25]	22
Obr. 29 Ukázka prolisů vzniklých ražením [26]	23
Obr. 30 Ražení v uzavř. razidlech [27]	23
Obr. 31 Lemování otvoru [3], [17]	23
Obr. 32 Průběh střižné síly [19]	24
Obr. 33 Aproximace střižné síly pomocí elipsy	24
Obr. 34 Schéma ohýbání do tvaru 'V' [24]	24
Obr. 35 Průběh ohybové síly s kalibrací [24]	25
Obr. 36 Těžiště výslednice sil graficky [19]	26
Obr. 37 Těžiště výslednice sil pro početní řešení [19]	27
Obr. 38 Postupový sdružený nástroj [17], [27]	27

Obr. 39 Rozdělení střížnic [17], [27]	28
Obr. 40 Geometrie střížnic [17]	28
Obr. 41 Upnutí střížníků	28
Obr. 42 Geometrie střížníků [17]	28
Obr. 43 Tolerance střížných nástrojů [17], [19]	29
Obr. 44 Celistvý a vložkový ohybník	29
Obr. 45 Celistvá a vložková ohybnice	29
Obr. 46 Schéma razníku a raznice [27]	30
Obr. 47 Schéma lemování [18]	30
Obr. 48 Princip stroje [29]	31
Obr. 49 Schéma hydraulického lisu [30]	31
Obr. 50 Graf přetvárné práce u hydraulického lisu [30]	32
Obr. 51 Graf a schéma výstředníkového lisu [30]	32
Obr. 52 Vzdálenosti stříhaných otvorů [18], [33]	33
Obr. 53 Šířka vyčnívajících úseků [18]	33
Obr. 54 Schéma uspořádání výstřížků [33], [19]	33
Obr. 55 Směr vláken při ohybu [34]	34
Obr. 56 Minimální délka ramene [34]	34
Obr. 57 Minimální vzdálenost otvoru od ohybu [18], [34]	34
Obr. 58 Model krytu	35
Obr. 59 Vzdálenosti otvorů krytu	35
Obr. 60 Délky ramen ohybu krytu	36
Obr. 61 Rozvinutý tvar polotovaru	37
Obr. 62 Příčné umístění výstřížků	37
Obr. 63 Podélné umístění výstřížků	37
Obr. 64 Šikmé umístění výstřížků	38
Obr. 65 Vstříčné umístění výstřížků	38
Obr. 66 Podélné dvouřadé umístění výstřížků s ohyby na kraji	38
Obr. 67 Podélné dvouřadé umístění výstřížků s ohyby ve středu	38
Obr. 68 První varianta výrobního postupu	39
Obr. 69 Druhá varianta výrobního postupu	40
Obr. 70 Třetí varianta výrobního postupu	41
Obr. 71 3D model výrobního postupu	41
Obr. 72 Velikosti šířky odpadu	42
Obr. 73 Svitek plechu	42
Obr. 74 Rozměry pro ohyb 1	43
Obr. 75 Rozměry pro ohyb 2	43
Obr. 76 Rozměry pro ohyb 3	43
Obr. 77 Tvary střížníků	44

Obr. 78 Ohyb ramen	45
Obr. 79 Znázornění ražení a lemu	46
Obr. 80 Graf závislosti síly na čase	47
Obr. 81 Příklad určení těžiště u stejných operací	48
Obr. 82 Určení těžiště sil první části.....	48
Obr. 83 Určení těžiště sil druhé části	49
Obr. 84 Určení celkového těžiště sil.....	50
Obr. 85 Těžiště sil.....	51
Obr. 86 Lis KSTU 5000-30-7G RKM [36]	51
Obr. 87 Lis s podávacím zařízením [37].....	51
Obr. 88 Složený nástroj	52
Obr. 89 Pohyb plechu v nástroji	52
Obr. 90 Spodní část nástroje	53
Obr. 91 Uchycení ohybníku a raznice	53
Obr. 92 Uchycení pružných dílů.....	54
Obr. 93 Horní část nástroje	54
Obr. 94 Upnutí horních částí nástroje	54
Obr. 95 Uchycení plovoucího vedení	55
Obr. 96 Plovoucí vedení	55
Obr. 97 Uchycení hledáček, odtlačovacích kolíků a vod. pouzder	55
Obr. 98 Schéma upnutí nástroje do lisu	56
Obr. 99 Lisovnice	56

SEZNAM TABULEK

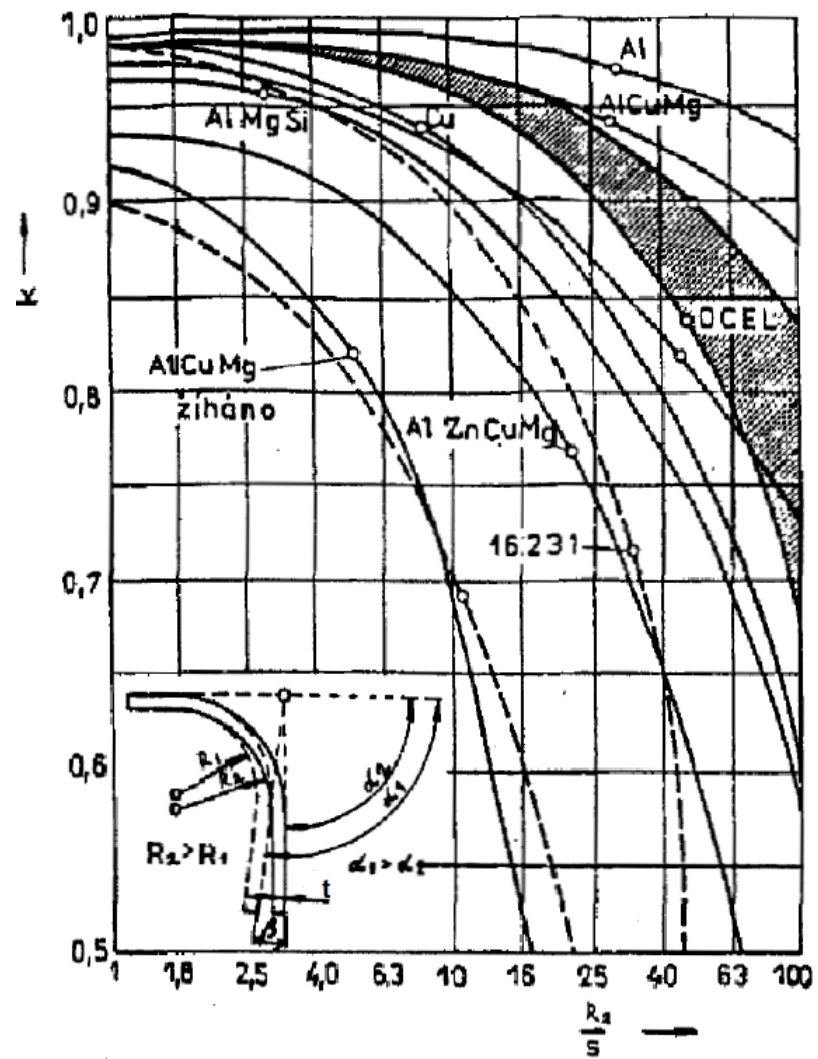
Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S355MC [8], [9].....	11
Tab. 2 Hodnoty součinitele posunutí neutrální osy [24].....	19
Tab. 3 Hodnoty odpružení [24].....	21
Tab. 4 Hodnoty koeficientu ohybu [17].....	21
Tab. 5 Materiály částí nástrojů [17], [27]	30
Tab. 6 Velikosti sil při stříhání	44
Tab. 7 Těžiště sil pro první část plechu	49
Tab. 8 Těžiště sil pro druhou část plechu	50
Tab. 9 Technické parametry lisu KSTU 5000-30-7G RKM [36].....	51

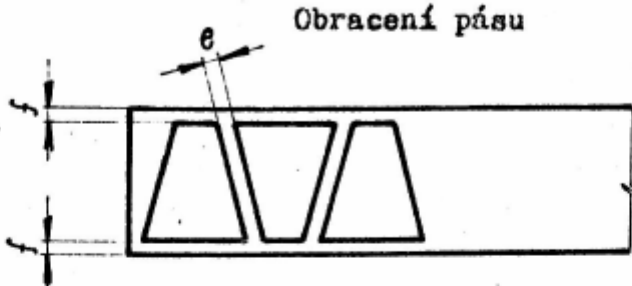
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Diagram pro určení koeficient k [2]
Příloha 2 Směrnice pro stanovení šířky odpadu [35]
Příloha 3 Simulace plastického přetvoření a smykového napětí při střihu a ražení
Příloha 4 Tolerance a přípustná míra opotřebení pracovních částí stříhadel [40]
Příloha 5 Vzorce pro výpočet střížníku a střížnice pro děrování [40]

SEZNAM VÝKRESŮ

SDRUŽENÝ NÁSTROJ	DP_2019_172069_00
SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE	DP_2019_172069_01
SPODNÍ ČÁST NÁSTROJE K.	DP_2019_172069_01K
HORNÍ ČÁST NÁSTROJE	DP_2019_172069_02
HORNÍ ČÁST NÁSTROJE K.	DP_2019_172069_02K
KRYCÍ PLECH ZÁMKU	DP_2019_172069_1A
OHYBNICE 3	DP_2019_172069_1.17
LEMOVACÍ TRN	DP_2019_172069_2.37



(Z) NÁŘ KON-KL	SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU	415 - 06 - 205										
 <p style="text-align: center;">Obracení pásu</p>												
Tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15÷20		50÷100		100÷200		200÷300		300÷400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
C, 1÷0,4	1,8	1,5	2,8	1,8	3,5	2,2	5	3,1				
0,4÷0,9	1,8	1,5	2,8	1,8	3,8	2,2	5,2	3,1				
1	2	1,6	3	2	4	2,5	5,5	3,7	7,3	4,8	9	6
1,3	2,2	1,7	3,2	2,5	4,2	3,1	5,8	4,3	7,5	5,7	9,6	7
1,5	2,2	1,8	3,2	2,7	4,2	3,2	5,8	4,5	7,8	6	9,8	7,2
1,8	2,2	2,2	3,2	2,8	4,2	3,5	5,8	4,7	7,8	6,2	9,8	7,4
2	2,5	2,5	3,5	3,1	4,5	3,7	6	5	8	6,3	10	7,5
2,2	2,5	2,7	3,5	3,2	4,5	4	6	5,2	8	6,4	10	7,5
2,5	2,8	3,1	3,8	3,5	4,8	4,1	6,2	5,25	8,2	6,5	10,2	7,6
2,8	2,8	3,5	3,8	3,7	4,8	4,2	6,2	5,3	8,5	6,5	10,5	7,6
3	3	3,7	4	4	5	4,5	6,8	5,5	9	6,7	11	7,8
3,5			4,2	4,3	5,2	5	7	6	9	7,2	11,2	8,4
4			4,5	4,5	5,5	5,5	7,2	6,5	9,2	7,8	11,3	9,3
4,5			4,8	4,8	5,8	5,7	7,5	6,8	9,8	8,3	12	9,8
5			5	5	6	6	8	7	10	8,5	12,3	10
Rozměry uvedené v tabulce platí pro kovy. Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f.												
Kreslil <i>Buček</i>	Přezkoušel <i>ky Prátor</i>	Schválil <i>Bořek</i>							Platí od: 1.4.1981			

Plastické přetvoření v okamžiku stříhu

D: Copy of Copy of Explicit Dynamics

Equivalent Plastic Strain 2

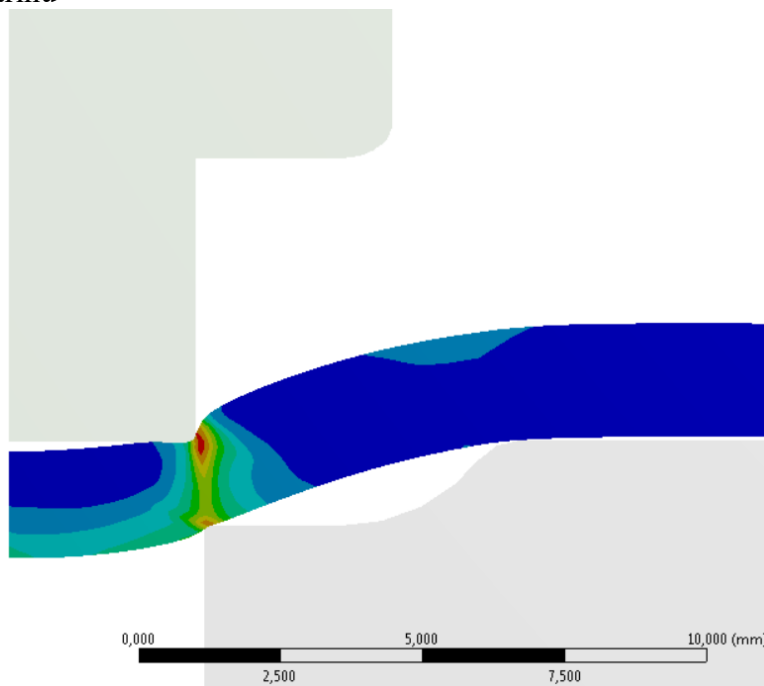
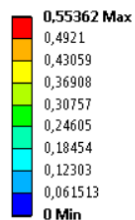
Type: Equivalent Plastic Strain

Unit: mm/mm

Time: 3,e-002

Cycle Number: 804955

9.4.2019 18:02



Smykové napětí v okamžiku stříhu

D: Copy of Copy of Explicit Dynamics

Shear Stress 2

Type: Shear Stress(XY Plane)

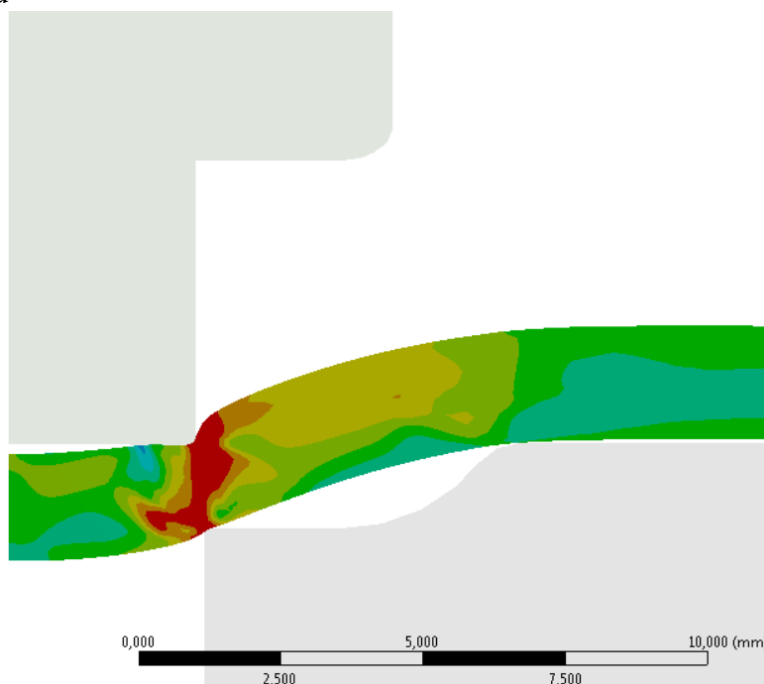
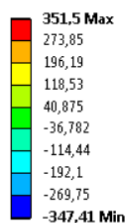
Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 3,e-002

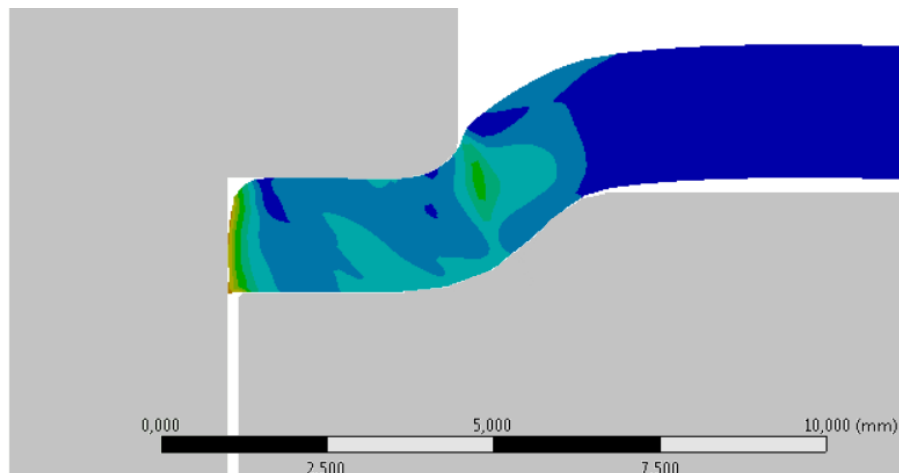
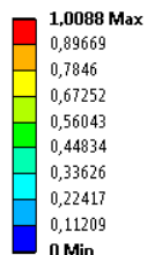
Cycle Number: 2704689

9.4.2019 18:00



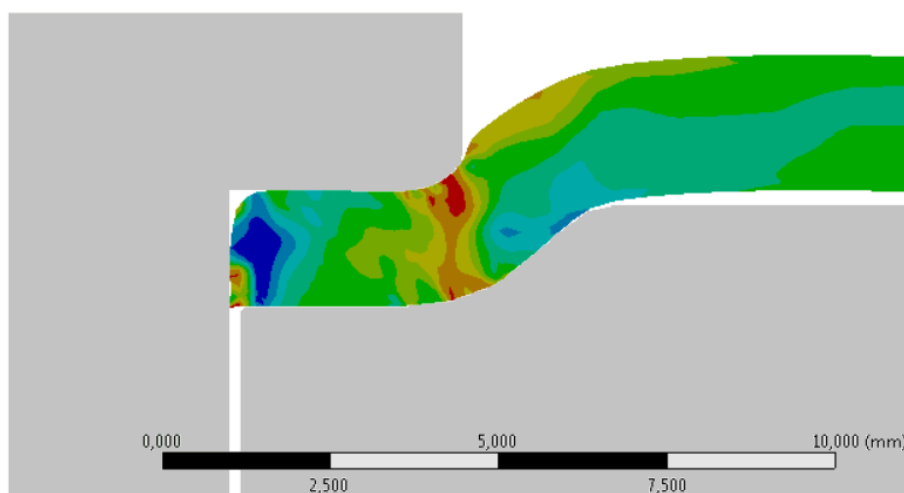
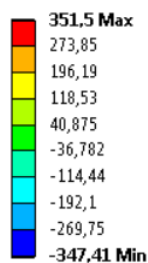
Plastické přetvoření na konci ražení

D: Copy of Copy of Explicit Dynamics
 Equivalent Plastic Strain 2
 Type: Equivalent Plastic Strain
 Unit: mm/mm
 Time: 0,1
 Cycle Number: 2704689
 9.4.2019 18:02



Smykové napětí na konci ražení

D: Copy of Copy of Explicit Dynamics
 Shear Stress 2
 Type: Shear Stress(XY Plane)
 Unit: MPa
 Global Coordinate System
 Time: 0,1
 Cycle Number: 2704689
 9.4.2019 18:01



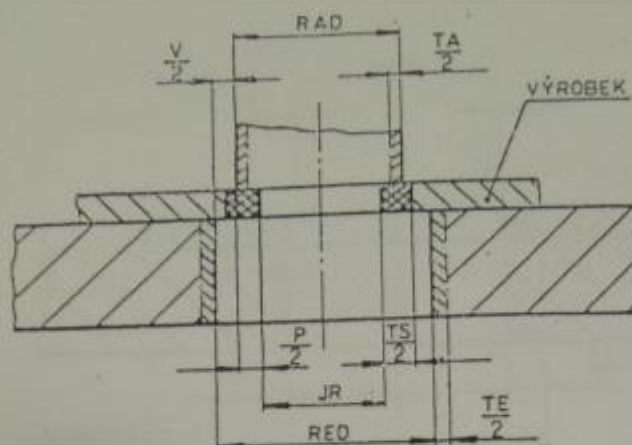
Příloha k ČSN 22 6015

Tab. 18. Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

Rozměry v mm

Tolerance součástí TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížník - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,044	0,030
0,180	0,200	0,180	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,058
0,280	0,300	0,230	0,089	0,059
0,300	0,320	0,250	0,100	0,060
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,360	0,150	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,820	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250

ČSN 22 6015



Obr. 7. Děrování

Tab. 8. Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice při děrování

Opo- tře- bení rozměry:	Orien- tace odchylek TS	Technologicky základní část			
		Střížník	*)	Střížnice	**)
Zvět- šuje {např.: D ₂ obr. 4}	+	$RAD = \{JR\} + TA$	$RED = \{JR - V + TE\} - TE$ $(RAD + V + TE) - TE$	$RED = \{JR - V + TE\} - TE$	$RAD = \{RED + V + TA\} + TA$
	-	$RAD = \{JR - P\} + TA$		$RED = \{JR - P - V + TE\} - TE$	
	±	$RAD = \{JR - \frac{P}{2}\} + TA$		$RED = \{JR - \frac{P}{2} - V + TE\} - TE$	
Zmen- šuje {např.: A ₂ , B ₂ , C ₂ , E ₂ , J, K obr. 4 a 5}	+	$RAD = \{JR + P\} - TA$	$RED = \{JR + V + TE\} + TE$ $(RAD + V + TE) + TE$	$RED = \{JR + P + V\} + TE$	$RAD = \{RED + V + TA\} - TA$
	-	$RAD = \{JR\} - TA$		$RED = \{JR + V\} + TE$	
	±	$RAD = \{JR + \frac{P}{2}\} - TA$		$RED = \{JR + \frac{P}{2} + V\} + TE$	
Nemění {např.: F ₂ , H ₂ , L obr. 4 a 5}	+	$RAD = \{JR + \frac{P}{2}\} \pm TA$	$RED = \{JR + \frac{P}{2}\} \pm TE$ $(RAD) \pm TE$	$RED = \{JR + \frac{P}{2}\} \pm TE$	$RAD = \{RED\} + TA$ $\pm TA$
	-	$RAD = \{JR - \frac{P}{2}\} \pm TA$		$RED = \{JR - \frac{P}{2}\} \pm TE$	
	±	$RAD = \{JR\} \pm TA$		$RED = \{JR\} \pm TE$	
*) Odvozené vzorce pro střížnici				Tlustě zářámované vzorce se používají nejčastěji	
**) Odvozené vzorce pro střížník					

Vysvětlivky:

RED — rozměr střížnice při děrování
 RAD — rozměr střížníku při děrování
 JR — jmenovitý rozměr součásti
 V — střížná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)

TS — tolerance jmenovitého rozměru
 P — přípustná míra opotřebení
 TE — výrobní tolerance střížnice
 TA — výrobní tolerance střížníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy)